

Bedingungen von Transfer beim Lernen von Gleichgewichtsaufgaben

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doctor philosophiae
(Dr. phil.)

der Universität Paderborn
Fakultät für Naturwissenschaften
Department Sport & Gesundheit

vorgelegt von
Martin Wünnemann
geb. am 18. April 1979 in Warendorf

Gutachter:

Prof. Dr. N. Olivier; Universität Paderborn

Prof. Dr. T. Jöllenbeck; Universität Paderborn

Paderborn, im März 2012

1	Problemstellung und Aufbau der Arbeit	1
2	Theoretische Grundlagen und vorliegende Befunde.....	4
2.1	<i>Transfer und Lernen.....</i>	4
2.1.1	Lernen.....	4
2.1.2	Transfer.....	5
2.1.3	Historischer Rückblick auf die Anfänge experimenteller Transferforschung.....	11
2.1.4	Transfer und Ähnlichkeit	16
2.1.4.1	Ähnlichkeit der zugrunde liegenden motorischen Fertigkeiten	17
2.1.4.2	Ähnlichkeit sensorischer Kontrollprozesse	18
2.1.4.3	Ähnlichkeit von Verarbeitungsaktivitäten.....	20
2.1.4.4	Zusammenfassung.....	20
2.2	<i>Gleichgewicht.....</i>	21
2.2.1	Mechanisches Gleichgewicht starrer Körper	21
2.2.2	Motorisches Gleichgewicht.....	22
2.2.3	Physiologische Grundlagen der motorischen Gleichgewichtskontrolle	25
2.2.3.1	Beteiligte sensorische Systeme	25
2.2.3.2	Motorische Systeme.....	30
2.2.4	Posturale Synergien.....	34
2.2.4.1	Reaktive posturale Synergien	36
2.2.4.2	Antizipatorische posturale Synergien	48
2.2.4.3	Posturale Synergien beim Balancieren auf einem Wackelbrett	51
2.2.4.4	Zusammenfassung: Posturale Synergien	53
2.3	<i>Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben</i>	53
2.3.1	Definition Gleichgewichtsaufgaben	54
2.3.2	Querschnittliche Zusammenhangsanalysen.....	55
2.3.3	Querschnittliche, quasiexperimentelle Expertiseunterschiede.....	61
2.3.4	Transferexperimente	66
2.3.4.1	Naher Transfer	68
2.3.4.2	Transfer bei biomechanischen Unterschieden zwischen den Aufgaben	71
2.3.4.3	Transfer auf veränderte visuelle Bedingungen.....	79

2.4	<i>Herleitung allgemeiner Forschungshypothesen</i>	80
3	Experiment 1	82
3.1	<i>Methode Experiment 1</i>	82
3.1.1	Stichprobe	82
3.1.2	Die verwendeten Stabilometer	83
3.1.3	Verdunkelte Brille	86
3.1.4	Datenerfassung und Verarbeitung	87
3.1.4.1	Messtechnik	87
3.1.4.2	Ergebnisaufbereitung	90
3.1.5	Abhängige Variable	92
3.1.6	Übungs- und Transferaufgaben	93
3.1.7	Untersuchungsdesign	95
3.1.7.1	Vorgeschaltete Aneignungsphase.....	95
3.1.7.2	Pretest.....	97
3.1.7.3	Intervention	97
3.1.7.4	Posttest	98
3.2	<i>Operationalisierte Forschungshypothesen</i>	98
3.3	<i>Statistische Auswertung</i>	101
3.4	<i>Ergebnisse Experiment 1</i>	103
3.4.1	Voraussetzungsüberprüfungen	103
3.4.2	Deskriptive Statistik.....	104
3.4.3	Hypothesenprüfung.....	105
3.4.3.1	Aufgabenspezifische Lerneffekte	105
3.4.3.2	Transfer auf Aufgaben mit veränderter Federkonstante	113
3.4.3.3	Transfer auf Aufgaben mit gleicher freigegebener Achse	117
3.4.3.4	Transfer auf Aufgaben mit einer zusätzlich freigegebenen Achse	121
3.4.3.5	Transfer auf Aufgaben auf Stabilometer II	125
3.4.3.6	Transfer auf Aufgaben mit veränderter Verfügbarkeit visueller Information	130
3.5	<i>Diskussion der Ergebnisse von Experiment 1</i>	133
3.5.1	OH1 Aufgabenspezifisches Lernen.....	134
3.5.2	OH2 Transfer auf veränderte Federkonstante.....	136

3.5.3	OH3 Transfer auf Aufgaben, bei denen die gleiche Achse freigegeben ist.....	137
3.5.4	OH4 Transfer auf Aufgaben mit zusätzlicher Achse.....	139
3.5.5	OH5 Transfer auf Stabilometer mit verändertem Abstand zwischen Standfläche und Rotationsachse (Stabilometer II).....	140
3.5.6	OH6 Transfer auf Aufgaben mit veränderten visuellen Bedingungen	141
3.5.7	Zusammenfassende Diskussion zu Experiment 1.....	142
4	Experiment 2.....	143
4.1	<i>Aufmerksamkeit</i>	<i>144</i>
4.1.1	Theoretische Modelle zur Aufmerksamkeit als limitierte Ressource.....	145
4.1.2	Aufmerksamkeit als selektiver Mechanismus.....	147
4.1.3	Bewegungsbezogene Aufmerksamkeit im Lernverlauf	149
4.1.4	Aufmerksamkeit und motorische Kontrolle	149
4.1.4.1	Auswirkungen bewegungsbezogener Aufmerksamkeit auf die Leistung bei motorischen Aufgaben.....	150
4.1.4.2	Auswirkungen bewegungsbezogener Aufmerksamkeit auf die Leistung bei Gleichgewichtsaufgaben	151
4.1.5	Erklärung der nicht hypothesenkonformen Ergebnisse aus Experiment 1 (OH3).....	153
4.2	<i>Herleitung allgemeiner Forschungshypothesen</i>	<i>153</i>
4.3	<i>Methode Experiment 2</i>	<i>154</i>
4.3.1	Stichprobe	154
4.3.2	Das verwendete Stabilometer	155
4.3.3	Datenerfassung und Verarbeitung	155
4.3.4	Primäraufgaben auf dem Stabilometer.....	155
4.3.5	Sekundäraufgabe Rückwärtszählen in 3er-Schritten	156
4.3.6	Übungs- und Transferaufgaben	159
4.3.7	Untersuchungsdesign	161
4.3.7.1	Vorgeschaltete Aneignungsphase.....	161
4.3.7.2	Pretest.....	163
4.3.7.3	Intervention	163

4.3.7.4	Posttest	163
4.4	<i>Operationalisierte Forschungshypothesen</i>	163
4.5	<i>Statistische Auswertung</i>	165
4.6	<i>Ergebnisse Experiment 2</i>	167
4.6.1	Voraussetzungsüberprüfungen	167
4.6.2	Deskriptive Statistik	169
4.6.3	Hypothesenprüfung	170
4.6.3.1	Replikation Transfer auf nicht geübte Richtung	170
4.6.3.2	Replikation Transfer auf geübte Richtung mit zweiter freigegebener Achse	172
4.6.3.3	Transfer bei Variation der Federkonstante	175
4.6.3.4	Doppeltätigkeitskosten	177
4.7	<i>Diskussion der Ergebnisse von Experiment 2</i>	185
4.7.1	Ergebnisse unter Einzeltätigkeit	186
4.7.1.1	Abweichungen in der Achse, die während der Übungsphase arretiert war	186
4.7.1.2	Abweichungen in der Achse, die während der Übungsphase freigegeben war	187
4.7.2	Doppeltätigkeitskosten	187
5	Zusammenfassung, Ausblick und Grenzen	188
	Literaturverzeichnis	194
	Anhang	218

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Nutzen von Transferexperimenten für Theorie und Anwendung.....	10
Abb. 2	Angenommene Zusammenhänge zwischen Aufgabenähnlichkeit und Transfer. oben: nach Skaggs (1925, S. 31); unten: nach Robinson (1927, S. 299).....	13
Abb. 3	Experimentell gefundener Zusammenhang zwischen Aufgabenähnlichkeit und Transfer (Robinson, 1927, Experiment 3, S. 311).....	14
Abb. 4	The Transfer and Retroaction Surface nach Osgood (1949, S. 140).....	15
Abb. 5	Transfer Surface nach Holding (1976, S. 7). Anzumerken ist, dass der Fall identischer Stimuli (1a-1d) für unreal gehalten wird (Holding, 1976, S. 7; vgl. Kap. 2.1.2).....	16
Abb. 6	Verschiedene Gleichgewichtszustände eines Körpers auf einem Stabilometer.....	21
Abb. 7	Kippmoment (modifiziert nach Kuchling, 2011, S. 67). F_G : Gewichtskraft, F_{Kipp} : Kippkraft, d_1 : Abstand zwischen Schwerkraftslot und Kippkante, d_2 : Abstand zwischen horizontaler Komponente der Kippkraft und Kippkante. In Beispiel A reicht das Kippmoment aus, um den Körper zu kippen, in Beispiel B ist es zu gering.	22
Abb. 8	Ein Rahmenkonzept zur Entstehung von posturalen Strategien und posturalen Synergien (Horak, Henry & Shumway-Cook, 1997). Zu beachten ist, dass nach der Definition von <i>Aufgabe</i> in dieser Arbeit (vgl. Kap. 2.1.2), die Begriffe <i>Task</i> und <i>Environmental Context</i> gemeinsam als <i>Aufgabe</i> verstanden werden. <i>Behavioral Goals</i> können auch von der <i>Aufgabe</i> beeinflusst sein, können sich aber intra- und interindividuell unterscheiden.....	35

-
- Abb. 9 Skizze einer in zwei Freiheitsgraden beweglichen Standplattform (Nashner, 1971), die in den Experimenten von Nashner (1976, 1977) eingesetzt wurde.....36
- Abb. 10 Muskuläre Aktivitätsmuster auf posterior- (A, C) und anterior- (B, D) Auslenkungen der Standfläche (Horak & Nashner, 1986, S. 1372). A, B: normaler Untergrund; C, D: verkürzte Unterstützungsfläche (Balkenlänge: 9 cm). Para: *erector spinae*, Abd: *rectus abdominis*, Ham: *biceps femoris*, Quad: *rectus femoris*, Gast: *gastrocnemius medialis*, Tib: *tibialis anterior*).38
- Abb. 11 Beispiele für relative EMG-Amplituden der linksseitig untersuchten Muskeln (Henry et al. 1998b) in Abhängigkeit von der Auslenkungsrichtung. Die einzelnen Darstellungen stammen von verschiedenen VPn. Jeder Stern steht für eine VPn, die in dieser Richtung die größte muskuläre Aktivität gezeigt hat.41
- Abb. 12 Über 8 VPn gemittelte EMG-Antworten des *tibialis anterior* und des *gastrocnemius* auf dorsiflexierende Rotationen der Standfläche mit unterschiedlichem Abstand zwischen Rotationsachse der Standplattform und Sprunggelenksachse (Gollhofer et al., 1989). a: 0 cm, b-f: 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm.....43
- Abb. 13 Die 6 sensorischen Bedingungen der Experimente von Black & Nashner, 1984; Black et al., 1988; Horak, Nashner & Diener, 1990, Experiment 2 (McCollum, Shupert & Nashner, 1996, S. 259). „Sway referenced“ bedeutet, dass die Standfläche (4, 5, 6) und/oder die visuelle Umgebung (3, 6) parallel zu den Schwankungen der VPn um die Sprunggelenksachse rotiert.45
- Abb. 14 Diagramm der von McCollum et al. (1996) vorgeschlagenen *transition structure* von gesunden VPn im aufrechten Stand. Die fünf zusammengesetzten Boxen

symbolisieren die verschiedenen *sensory states*, die abrupt verlassen werden, wenn einer der schraffiert unterlegten Vergleiche sensorischer Information erfahren wird.46

Abb. 15 Veränderung der EMG-Amplitude bei Wiederholung der gleichen mechanischen Störung. A: Veränderung des gleichgerichteten EMG-Signals von *gastrocnemius* und *tibialis anterior* bei 10 aufeinander folgenden Translationen der Standfläche (Hansen et al., 1988). Es sind jeweils die ersten 300 ms nach Bewegung der Plattform dargestellt. B: Veränderung des IEMG während 100 posturaler Störungen (Horak et al., 1989).48

Abb. 16 Beispiel eines EMG-Musters (Bouisset & Zattara, 1981) bei einer Flexion des gestreckten Arms (Bouisset & Do, 2008). Die senkrechte Linie markiert den Beginn der Aktivität des deltoideus anterior. i: ipsilateral, c: kontralateral, Aw: vertikale Beschleunigung des Arms, AD: *deltoideus anterior*, TFL: *tensor fascia latae*, GM: *gluteus maximus*, ST: *semitendinosus*, RF: *rectus femoris*, SOL: *soleus*.49

Abb. 17 Vergleich des gleichgerichteten EMGs von *gastrocnemius* (Gast) und ichiocruraler Muskulatur (Ham) als Reaktion auf eine posterior-Translation der Standfläche (links) und als Vorbereitung des Ziehens an einem festen Griff mit dem *biceps brachii* (Bic) als Hauptbewegungsmuskel (modifiziert nach Cordo & Nashner, 1982; Horak & Nashner, 1986). 50

Abb. 18 Das mechanische Gleichgewicht beim Stehen auf einem Wackelbrett (Ivanenko et al., 1997). A: Die Voraussetzung des Gleichgewichts: Projektion des KSPs stimmt mit dem Kontaktpunkt zwischen Wackelbrett und Boden überein. B: Veränderung des Kontaktpunktes bei Veränderung der Wackelbrett-Neigung. C: Horizontale Verschiebung der Projektion des Sprunggelenks in Relation zum Kontaktpunkt

bei einer Vorwärtsrotation des Wackelbretts. Die unterschiedliche Höhe bewirkt einerseits eine Zunahme des Abstands (A_1), andererseits eine Abnahme (A_2). O: Mittelpunkt des Kreises der Wackelbrett-Bodenfläche. h: Höhe des Wackelbretts. l: Abstand zwischen Projektion des Sprunggelenks und Kontaktpunkt (K, K').	52
Abb. 19 Aufgaben mit geöffneten Augen auf dem Balance-Stick (Fleishman, 1964, S. 86-87). A: Einbeinig, Fußposition parallel zum Stick; B: Einbeinig, orthogonal; C: Beidbeinig, parallel; D: Beidbeinig, orthogonal.	60
Abb. 20 Beispiele für die Unterschiede in der Kinematik beim seitlichen Anheben eines Beins zwischen Untrainierten und Tänzern (Mouchnino et al., 1992, S. 1591).....	63
Abb. 21 Star Excursion Balance Test, Reichrichtung posterior (Rasool & George, 2007, S. 179).....	65
Abb. 22 Beispiel für eine Badminton-Schlagtechnik-Übung auf instabilem Untergrund (Push auf einem Wackelbrett) und High-Speed-Videoaufnahme einer Landung auf die „Trap-Door-Plattform“ mit eingezeichnetem Inversionswinkel (α).....	75
Abb. 23 Stabilometer I in horizontaler Position, mit eingehängten Zugfedern (NZ-8618) und Anschlägen.	84
Abb. 24 CAD-Abbildung von Stabilometer I, mit maximaler Rotation in der ml-Achse (oben) und der ap-Achse (unten), eingehängte Federn und Anschläge nicht eingezeichnet.	85
Abb. 25 Stabilometer II in horizontaler Position.....	86
Abb. 26 Aufbau eines Schiebepotentiometer (Schnabel, 2007, S.108).	88
Abb. 27 Beispiel für einen 2 Bit Analog-Digital-Wandler.....	89
Abb. 28 Beispiel eines Winkel-Zeitverlaufs über 30 s Testdauer. Der Graph zeigt die Rohdaten vor der Bearbeitung durch die in Python programmierte Korrektur-Software.	90

Abb. 29 Beispiel eines Winkel-Zeitverlaufs über 30 s Testdauer. Der graue Graph zeigt die Rohdaten vor der Bearbeitung durch die Korrektur-Software. Der rote Graph zeigt die korrigierten Daten. In diesem Beispiel werden die Korrektur der Peaks und die Addition eines konstanten Summanden besonders deutlich.

92

Abb. 30 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Standard* (ap) in der VG_{Standard} und der KG. 105

Abb. 31 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Standard* (ml) in der VG_{Standard} und der KG. 106

Abb. 32 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Starke Federn* (ap) in der $VG_{\text{Starke Federn}}$ und der KG.107

Abb. 33 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Starke Federn* (ml) in der $VG_{\text{Starke Federn}}$ und der KG.108

Abb. 34 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Blind* (ap) in der VG_{Blind} und der KG. 109

Abb. 35 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Blind* (ml) in der VG_{Blind} und der KG. 110

Abb. 36 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-ap* (ap) in der VG_{ap} und der KG.111

Abb. 37 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-ml* (ml) in der VG_{ml} und der KG.112

Abb. 38 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Starke Federn* (ap) in der VG_{Standard} und der KG.113

Abb. 39 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Starke Federn* (ml) in der VG_{Standard} und der KG.114

Abb. 40	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>I-Standard</i> (ap) in der VG _{Starke Federn} und der KG.	115
Abb. 41	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>I-Standard</i> (ml) in der VG _{Starke Federn} und der KG.	116
Abb. 42	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>I-ap</i> (ap) in der VG _{Standard} und der KG.	117
Abb. 43	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>I-ml</i> (ml) in der VG _{Standard} und der KG.	118
Abb. 44	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>I-Standard</i> (ap) in der VG _{ap} und der KG.	119
Abb. 45	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>I-Standard</i> (ml) in der VG _{ml} und der KG.	120
Abb. 46	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>I-Standard</i> (ml) in der VG _{ap} und der KG.	121
Abb. 47	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>I-ml</i> (ml) in der VG _{ap} und der KG.	122
Abb. 48	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>I-Standard</i> (ap) in der VG _{ml} und der KG.	123
Abb. 49	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>I-ap</i> (ap) in der VG _{ml} und der KG.	124
Abb. 50	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>II-ml</i> (ml) in der VG _{Standard} und der KG.	125
Abb. 51	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>II-ml</i> (ml) in der VG _{Starke Federn} und der KG.	126

Abb. 52	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>II-ml</i> (ml) in der VG _{ap} und der KG.	127
Abb. 53	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>II-ml</i> (ml) in der VG _{ml} und der KG.	128
Abb. 54	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>II-Blind</i> (ml) in der VG _{Blind} und der KG.	129
Abb. 55	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>I-Blind</i> (ap) in der VG _{Starke Federn} und der KG.	130
Abb. 56	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>I-Blind</i> (ml) in der VG _{Starke Federn} und der KG.	131
Abb. 57	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>I-Starke Federn</i> (ap) in der VG _{Blind} und der KG.	132
Abb. 58	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>I-Starke Federn</i> (ml) in der VG _{Blind} und der KG.	133
Abb. 59	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>S-Standard</i> (ml) in der VG _{ap} und der KG.	171
Abb. 60	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>S-Standard</i> (ap) in der VG _{ml} und der KG.	172
Abb. 61	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>S-Standard</i> (ap) in der VG _{ap} und der KG.	173
Abb. 62	Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe <i>S-Standard</i> (ml) in der VG _{ml} und der KG.	174

-
- Abb. 63 Mittelwerte und Standardabweichungen des RMSEs in der ml-Achse bei Pretest und Posttest der Aufgabe *S-Starke Federn (ap)* in der VG_{ml} und der KG.175
- Abb. 64 Mittelwerte und Standardabweichungen des RMSEs in der ap-Achse bei Pretest und Posttest der Aufgabe *S-Keine Federn (ml)* in der VG_{ap} und der KG.176
- Abb. 65 Mittelwerte und Standardabweichungen der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Primäraufgabe (RMSE in der ap-Achse) bei Pretest und Posttest der Aufgaben *D-Standard* und *D-Keine Federn (ml)* in der VG_{ap} und der KG. 178
- Abb. 66 Mittelwerte und Standardabweichungen der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Primäraufgabe (RMSE in der ml-Achse) bei Pretest und Posttest der Aufgaben *D-Standard* und *D-Keine Federn (ml)* in der VG_{ap} und der KG. 179
- Abb. 67 Mittelwerte und Standardabweichungen der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Sekundäraufgabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten* bei Pretest und Posttest der Aufgaben *D-Standard* und *D-Keine Federn (ml)* in der VG_{ap} und der KG.181
- Abb. 68 Mittelwerte und Standardabweichungen der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Primäraufgabe (RMSE in der ap-Achse) bei Pretest und Posttest der Aufgaben *D-Standard* und *D-Starke Federn (ap)* in der VG_{ml} und der KG. 182
- Abb. 69 Mittelwerte und Standardabweichungen der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Primäraufgabe (RMSE in der ml-Achse) bei Pretest und Posttest der Aufgaben *D-Standard* und *D-Starke Federn (ap)* in der VG_{ml} und der KG. 184
- Abb. 70 Mittelwerte und Standardabweichungen der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Sekundäraufgabe

<i>Rückwärtszählen in 3er-Schritten</i> bei Pretest und Posttest der Aufgaben <i>D-Standard</i> und <i>D-Starke Federn (ap)</i> in der VG _{ml} und der KG.	185
--	-----

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Übersicht über Experimente bei denen naher Transfer zwischen Gleichgewichtsaufgaben untersucht wurde.....	69
Tab. 2	Übersicht über Transferexperimente, in denen sich Übungs- und Transferaufgabe hinsichtlich biomechanischer Merkmale unterscheiden.....	72
Tab. 3	Übersicht über Transferexperimente, die kontralateralen Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben untersuchten.	77
Tab. 4	Übersicht über Transferexperimente in denen sich die Übungs- und die Transferaufgabe hinsichtlich der Verfügbarkeit visueller Information unterscheiden.	79
Tab. 5	Übersicht über die Aufgaben des Experiments 1.	94
Tab. 6	Reihenfolgen der Aufgaben während der vorgeschalteten Aneignungsphase	97
Tab. 7	Die VGn aus Experiment 1 mit den jeweils geübten Aufgaben.	98
Tab. 8	Überprüfung des Einflusses der Aufgabenreihenfolge auf die Leistungen bei den Stabilometeraufgaben in Experiment 1. Interaktionseffekte mit den Faktoren Abhängige Variable und Reihenfolge der vierfaktoriellen Varianzanalyse (<i>Abhängige Variable x Reihenfolge x MZP x VG</i>)	104
Tab. 9	Mittelwerte und Standardabweichung des RMSEs	104
Tab. 10	Übersicht über die Aufgaben des Experiments 2.	160
Tab. 11	Reihenfolgen der Aufgaben während der vorgeschalteten Aneignungsphase in Experiment 2	162
Tab. 12	Überprüfung des Einflusses der Aufgabenreihenfolge auf die Leistungen bei den Stabilometeraufgaben in Experiment 2. Interaktionseffekte mit den Faktoren Abhängige Variable und Reihenfolge der vierfaktoriellen Varianzanalyse (<i>Abhängige Variable x Reihenfolge x MZP x VG</i>).	168

Tab. 13	Überprüfung des Einflusses der Aufgabenreihenfolge auf die Leistungen bei der Sekundäraufgabe <i>Rückwärtszählen in 3er-Schritten</i> . Interaktionseffekte mit den Faktoren Abhängige Variable und Reihenfolge der vierfaktoriellen Varianzanalyse (<i>Abhängige Variable x Reihenfolge x MZP x VG</i>).	169
Tab. 14	Mittelwerte und Standardabweichung des RMSEs ...	170
Tab. 15	Mittelwerte und Standardabweichung Anzahl der richtigen Zählsschritte.....	170

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AM	arithmetisches Mittel
ANOVA	Varianzanalyse (Analysis of Variance)
AV	abhängige Variable
CAD	computer-aided design
cm	Zentimeter
<i>df</i>	Freiheitsgrade (degrees of freedom)
η^2_p	partielltes eta ² ; Maßzahl für die erklärte Varianz bei der Varianzanalyse
F	Statistische Prüfgröße varianzanalytischer Verfahren
FH	(allgemeine) Forschungshypothese
GMP	generalisiertes motorisches Programm
Hz	Hertz (Einheit der Frequenz)
Kap.	Kapitel
KG	Kontrollgruppe
lx	Lux (Einheit der Beleuchtungsstärke)
MZP	Messzeitpunkt(e)
ms	Millisekunde(n)
n	Umfang einer Stichprobe
N	Umfang aller Stichproben einer Untersuchung
N	Newton (Einheit der Kraft)
OH	operationalisierte Forschungshypothese
<i>p</i>	Irrtumswahrscheinlichkeit (propability)
<i>p_{adj}</i>	Irrtumswahrscheinlichkeit nach Adjustierung (Benjamin-Hochberg)
<i>r</i>	Produkt-Moment-Korrelations-Koeffizient nach Pearson
RMSE	Root Mean Square Error
s	Sekunde(n)
SD	Standardabweichung (standard deviation)
s.o.	siehe oben
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
s.u.	siehe unten
<i>t</i>	statistische Prüfgröße für T-Tests
Tab.	Tabelle
usw.	und so weiter
VG	Versuchsgruppe
vgl.	vergleiche
VPn	Versuchsperson(en)
vs.	versus
z.B.	zum Beispiel

1 Problemstellung und Aufbau der Arbeit

Der Übergang von der quadrupedalen zur bipedalen, aufrechten Haltung und Fortbewegung erfolgte bereits sehr früh in der menschheitsgeschichtlichen Evolution. Fußspuren aus dem Pliozän weisen darauf hin, dass Humanoide bereits seit mindestens 3,6 Millionen Jahren aufrecht gehen (Leakey & Hay, 1979; Raichlen et al., 2010), was evolutionsgeschichtlich noch vor dem Größenwachstum des Gehirns einzuordnen ist (Stedman et al., 2004). Zu den Ursachen dieser Entwicklung existieren verschiedene Erklärungsansätze (Kuliukas, 2002; Lovejoy, 2009; Thorpe, Holder & Crompton, 2007; O'Higgins & Elton, 2007; Preuschoft, 2004). Eine aufrechte Haltung beim bipedalen Stehen führt zu gravierenden Änderungen bei den Anforderungen an die Kontrolle des Gleichgewichts gegenüber dem quadrupedalen Stehen. Die Lage des Körperschwerpunkts ist erhöht, seine Unterstützungsfläche ist kleiner und die Möglichkeiten durch Muskelkontraktionen die Lage des Körperschwerpunkts zu beeinflussen sind verändert. Das führt zu unterschiedlichen muskulären Aktivierungsmustern bei der Reaktion auf Störungen des Gleichgewichts (Macpherson, Horak, Dunbar & Dow, 1989). Dunbar, Horak, Macpherson und Rushmer (1986) nahmen an, dass die quadrupedale Gleichgewichtskontrolle, die bei Humanoiden und verschiedenen Tieren vor allem über die Kontraktion der Hinterbeine geschieht, die Entwicklung zur bipedalen Haltung begünstigt hat. Da ein grundlegendes Muster zur bipedalen Gleichgewichtskontrolle schon vorhanden war, vermuteten sie, dass der Übergang zur aufrechten Haltung und Fortbewegung auch ohne anatomische Veränderungen im zentralen Nervensystem möglich war.

Neugeborene haben noch nicht alle Voraussetzungen für eine aufrechte Haltung. Erst durch die Veränderung von Körperproportionen, die Steigerung der Muskelkraft, die Entwicklung der somatosensorischen, vestibulären und visuellen Systeme sowie der Mechanismen zur Anpassung der Gewichtung dieser sensorischen Systeme in der Gleichgewichtskontrolle und das Erlernen von posturalen Reaktionen zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichts entwickeln

Kinder allmählich eine unabhängige, aufrechte Haltung (Woollacott & Jensen, 1994). Diese bietet im Alltag zahlreiche Vorteile, z.B. die Möglichkeit die Hände einzusetzen, um Gegenstände zu bearbeiten. Außerdem kann mit den Händen eine größere maximale Höhe erreicht werden.

Auch in vielen Sportarten ist eine aufrechte Haltung von taktischem Vorteil oder durch Regeln vorgegeben. Dabei treten im Vergleich zu Alltagsbewegungen sehr hohe äußere Kräfte auf, die regelbedingt (z.B. Sumo-Ringen, Abgänge beim Gerätturnen), aus taktischen Gründen (z.B. Zweikampf im Fußball) oder um Verletzungen zu vermeiden (z.B. Ski-Abfahrt) nicht zu einem Verlust der bipedalen Haltung führen sollten. In einigen Sportarten muss die bipedale Haltung auf alltagsunüblichen Untergründen (z.B. Wellenreiten) aufrechterhalten werden, was veränderte posturale Reaktionen erforderlich macht. Außerdem sind in einigen Sportarten die Möglichkeiten posturaler Reaktionen, wie Ausfallschritte, gerätbedingt (z.B. Schwebebalken) oder regelbedingt (z.B. Punktabzug bei Landung nach dem Abgang vom Schwebebalken) eingeschränkt. So ergeben sich in vielen Sportarten sehr hohe, spezifische Anforderungen an die Gleichgewichtsregulation. Deshalb werden Gleichgewichtsübungen als Teil des Trainings zahlreicher Sportarten vorgeschlagen (Bornemann et al., 1996, S. 118-119; Budinger & Koch, 1999, S. 20; Gattermann & Janda, 1996; S. 60-62; Gerling, 1999, S. 167-186; Kollath & Buschmann, 2010). Über die Gestaltung eines Gleichgewichtstrainings herrscht allerdings Uneinigkeit. Insbesondere führen unterschiedliche Annahmen bezüglich der Generalität bzw. der Spezifität der zugrunde liegenden Ressourcen zu divergierenden Trainingsempfehlungen (Olivier, Marschall & Büsch, 2008, S. 169-170). Wird eine hohe Generalität angenommen, kann man einen weiten Transfer von Übungsaufgaben auf die Zielaufgaben erwarten, woraus dann die Empfehlung eines fähigkeitsorientierten Gleichgewichtstrainings erwächst. Wenn dagegen angenommen wird, dass nur ein sehr naher Transfer zwischen Gleichgewichtsaufgaben möglich ist, folgt daraus die Empfehlung, genau die Zielaufgabe zu trainieren. Auch gemäßigte Positionen wären auf einem Kontinuum zwischen Fähigkeitstraining und Fertigkeitstraining (Rostock & Zimmermann, 1997) denkbar. Auf Fragen wie: Sollte man ein Gleichgewichtstraining auf einer Slackline durchführen, wenn

das eigentliche Trainingsziel darin besteht das Skifahren zu optimieren? Oder: Sollte man das Element Standwaage auf dem Schwebebalken mit geschlossenen Augen üben, obwohl sie im Wettkampf geöffnet sein dürfen? erhält man deshalb bis heute widersprüchliche Antworten.

Jede trainingspraktische Anwendungsfrage einzeln experimentell zu untersuchen scheint allerdings ein aussichtsloses Unterfangen zu sein. Deshalb soll in dieser Arbeit eine andere Forschungsstrategie verfolgt werden, die als problemorientierte Grundlagenforschung bezeichnet wird (Olivier, 1996, S. 15). Dabei werden sportartspezifische Anwendungsfragen theoretisch eingeordnet, grundlagenorientiert bearbeitet und schließlich wieder auf Anwendungsfragen übertragen. So ist es möglich mit geringerem experimentellen Aufwand Hinweise für zahlreiche sportartspezifische Anwendungsfragen zu gewinnen. Versucht man allerdings die sportartspezifischen Fragestellungen zur Generalität oder Spezifität des Gleichgewichtstrainings einzuordnen, verwundert die bestehende Uneinigkeit nicht. Schließlich existiert bislang keine Theorie, die als Instrument zur Vorhersage von Transfer geeignet ist (im Sinne von „there is nothing so practical as a good theory“ (Lewin, 1951, S. 169; vgl. auch Kant, 1793, S. 284)). Einfache Theorien (Popper, 2005, S. 115-125) mit großem Allgemeinheitsgrad sind leicht falsifizierbar (Popper, 2005, S. 120-121). Außerdem ist in vielen Theorien die Verwendung des Begriffs *Ähnlichkeit* ohne weitere Spezifikation problematisch (vgl. Kap. 2.1.3). Deshalb lässt sich aus diesen Theorien nicht ableiten welche Bedingungen erfüllt sein müssen, damit ein Transfer erwartet werden kann. Weniger einfache Theorien, die Vorhersagen zu Transfer beim Üben von Gleichgewichtsaufgaben erlauben (z.B. Olivier, 1997), sind bislang noch nicht ausreichend überprüft worden und somit noch wenig bewährt (Popper, 2005, S. 237-271). In der vorliegenden Arbeit soll versucht werden, aus theoretischen Grundlagen und vorliegenden Befunden mögliche Bedingungen von Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben zu identifizieren und diese experimentell zu prüfen. Dadurch soll sie dazu beitragen trainingspraktischen Empfehlungen zum Gleichgewichtstraining ein besseres theoretisches Fundament zu geben.

Dazu werden zunächst theoretische Grundlagen und vorliegende Befunde (Kap. 2) zum Transfer beim motorischen Lernen (Kap. 2.1), zum Gleichgewicht (Kap. 2.2) und zum Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben (Kap. 2.3) vorgestellt. Daraus werden allgemeine Forschungshypothesen hergeleitet (Kap. 2.4). Anschließend werden zwei eigene Experimente vorgestellt (Experiment 1, Kap. 3, Experiment 2, Kap. 4). Abschließend werden die beiden Experimente zusammengefasst, gemeinsam diskutiert und Empfehlungen für die Trainingspraxis und eine weitere wissenschaftliche Auseinandersetzung ausgesprochen (Kap. 5).

2 Theoretische Grundlagen und vorliegende Befunde

2.1 Transfer und Lernen

2.1.1 Lernen

Das Wort *Lernen* hat seine Ursprünge im Gotischen und Indogermanischen. Das gotische Wort „lais“ hat die Bedeutung „ich weiß“ und das Wort „lis“ bedeutet im Indogermanischen „gehen“ (Wasserzieher, 1966, S. 288). Von der Herkunft des Wortes könnte man ableiten, dass sich der Begriff *Lernen* auf einen Prozess bezieht, der während der Bewältigung eines Weges stattfindet und an dessen Ende man an Wissen gelangt ist (Mielke, 2001, S. 11).

Versucht man verschiedene Definitionen von Lernen zusammenzufassen fällt folgende Gemeinsamkeit auf: *Erfahrung* und *Üben* werden als Ursachen von relativ dauerhafter *Verhaltensänderung* genannt (Dorsch, 1976, S. 340; Klix, 1971, S. 347-348; Krüger & Helsper, 2002, S. 97; Langfeldt, 1996, S. 102; Lefrançois, 2006, S. 6; Magill, 2011, S. 249, Mielke, 2001, S. 12; Rombach, 1971, S. 92; Tewes & Wildgrube, 1992, S. 204). Unterschiede liegen dagegen in dem, was an dieser Ursache-Wirkungs-Beziehung von *Erfahrung* und *Verhaltensänderung* als *Lernen* bezeichnet wird. Nach Rombach (1971, S. 92) sowie Tewes und Wildgrube (1992, S. 204) wird das Phänomen der *Verhaltensände-*

runge an sich als Lernen bezeichnet (vgl. Transferverständnis nach Cook, 1944; Ferguson, 1956; Kap. 2.1.2). Andere Autoren fassen dagegen unter dem Begriff *Lernen* diejenigen Prozesse zusammen, die zu der *Verhaltensänderung* führen (Dorsch, 1976, S. 340; Krüger & Helsper, 2002, S. 97; Langfeldt, 1996, S. 102; Lefrançois, 2006, S. 6-7). Diese Prozesse sind allerdings mit den heutigen technischen Möglichkeiten nicht direkt beobachtbar. Deshalb muss nach diesem Verständnis indirekt auf Lernen geschlossen werden, indem Verhaltensänderungen beobachtet werden (Krüger & Helsper, 2002, S. 97; Magill, 2011, S. 249; Zimbardo, 1992, S. 227). In einigen Definitionen werden Verhaltensänderungen, die aufgrund von Reifung, Krankheit, hoher Beanspruchung, Drogenkonsum usw. auftreten, explizit ausgeschlossen (Krüger & Helsper, 2002, S. 97; Lefrançois, 2006, S. 6; Mielke, 2001, S. 12; Tewes & Wildgrube, 1992, S. 204). Trotzdem erscheint eine weitere Einschränkung sinnvoll. Viele Definitionen sind so formuliert, dass sie übungsbedingte Verhaltensänderungen, die im Rahmen dieser Arbeit nicht als Lernen verstanden werden sollen (z.B. Muskelhypertrophie, Goldspink & Harridge, 2003), nicht deutlich genug ausschließen. Die Definition nach Klix (1971) scheint dieses Problem lösen zu können, da er unter Lernen „die Ausbildung oder Korrektur von individuellem Gedächtnisbesitz“ (S. 348) versteht und somit Hypertrophie und andere Anpassungen des passiven Bewegungsapparats ausschließt. Im Rahmen dieser Arbeit soll in Anlehnung an Klix (1971) folgende Definition gelten:

Unter Lernen werden diejenigen Prozesse verstanden, die durch Übung oder Erfahrung ausgelöst werden und zu einer umweltbezogenen, relativ überdauernden Ausbildung und/oder Korrektur von Gedächtnisbesitz führen. Da diese Prozesse nicht direkt beobachtbar sind, muss aus relativ überdauernder Verhaltensänderung indirekt auf Lernen geschlossen werden.

2.1.2 Transfer

Der Begriff *Transfer* stammt von dem lateinischen Wort *transferre* ab, was *übertragen* bedeutet (Wasserzieher, 1966, S. 419). In der Psychologie wird der Begriff *Transfer* häufig synonym mit den Begriffen *Lerntransfer* (*transfer of learn-*

ing) und Trainingstransfer (*transfer of training*) verwendet. Üblicherweise wird mit dem Begriff Transfer ein Phänomen des Lernens bezeichnet. Wenn sich Gelerntes auf das Verhalten in Situationen auswirkt (übertragen werden kann), die sich von den Situationen unterscheiden, in denen die Erfahrungen gemacht wurden, die zum Lernen geführt haben, wird von Transfer gesprochen (Adams, 1987, S. 44; Cormier & Hagman, 1987, S. 1; Detterman, 1993, S. 4; Ellis, 1965, S. 3-4; Gick & Holyoak, 1987, S. 10; Magill, 2011, S. 290; Schmidt & Lee, 2005, S. 436; Schmidt & Young, 1987, S. 48). Nach diesem Verständnis bezieht sich der Begriff *Transfer*, anders als der Begriff *Lernen*, nicht auf die Prozesse, die zur Verhaltensänderung führen, sondern auf das Phänomen der Verhaltensänderung an sich. Dabei wird besonders hervorgehoben, dass sich die Lernsituation und die Situation, in der sich die Verhaltensveränderung beobachten lässt, unterscheiden.

Für diese Arbeit erscheint das Verständnis des Transferbegriffs nach Schmidt und Lee (2005) als Ausgangspunkt geeignet: „Transfer is usually defined as the gain (or loss) in the capability for performance in one task as a result of practice or experience on some other task.” (S. 436). Die Verwendung der Begriffe Leistung (*performance*) und Aufgabe (*task*) ist sehr gut mit den anwendungsorientierten sportwissenschaftlichen Fragestellungen (Kap. 1) vereinbar und ermöglicht eine experimentelle Operationalisierung. Die Formulierung Zuwachs oder Verlust von Leistungsvermögen (*gain or loss in the capability for performance*) birgt allerdings die Gefahr, dass Leistungsvermögen als eindimensionale Größe verstanden wird. Deshalb sollte es durch die Formulierung Veränderung von Leistungsvermögen (*change in the capability for performance*) ersetzt werden. Außerdem bedarf der Begriff Aufgabe (*task*) und die Unterscheidung verschiedener Aufgaben einer gesonderten Klärung (Gick & Holyoak, 1987, S. 10; Schmidt & Young, 1987, S. 48-49), was an den folgenden Beispielen verdeutlicht werden soll:

1. In einem Labor instruiert ein Versuchsleiter (VL) eine Versuchsperson (VPn): „Werfen Sie diese 50 Pfeile möglichst nah an das Zentrum der Zielscheibe!“ Die VPn versucht die Pfeile in möglichst kurzer Zeit auf die Scheibe zu werfen, um das Labor schnell verlassen zu können und einen wichtigen Termin nicht zu

verpassen. Ist es in diesem Beispiel die *Aufgabe*, möglichst genau zu werfen oder möglichst genau und schnell zu werfen?

2. Ist es als *Aufgabe* zu verstehen, wenn eine Person, ohne die Instruktion eines VLs, versucht Pfeile nah an das Zentrum einer Zielscheibe zu werfen?

3. Handelt es sich um zwei verschiedene *Aufgaben*, wenn sich die Helligkeit während der Würfe unterscheidet (z.B. 300 lx vs. 500 lx)?

4. Ist es eine andere *Aufgabe* wenn die Instruktion in „Wirf die Pfeile auf das Bullseye!“ geändert wird?

5. Sind es verschiedene *Aufgaben*, wenn die VPn die Pfeile mit unterschiedlichen Kombinationen der Abflugposition, des Abflugwinkels und der Abfluggeschwindigkeit ins Bullseye wirft?

Diese Fragen lassen sich nach verschiedenen Definitionen und Ansätzen zur Klassifizierung von Aufgaben unterschiedlich beantworten (zusammenfassend: Fleishman & Quaintance, 1984, S. 42-182; Hackman, 1969, S. 99-109). Im Rahmen der Transferdefinition soll Aufgabe nach der Definition von Hackman (1969) verstanden werden:

A task may be assigned to a person (or group) by an external agent or may be self-generated. It consists of a stimulus complex and a set of instructions which specify what is to be done vis à vis the stimuli. The instructions indicate what operations are to be performed by the subject(s) with respect to the stimuli and/or what goal is to be achieved. (S. 113)

Nach dieser Definition ist es möglich zwei VPn die gleiche Aufgabe zu übertragen. Selbst wenn diese die Aufgabe unterschiedlich redefinieren bleibt es die gleiche Aufgabe (s.o. Bsp. 1; Hackman, 1969, S. 114). Von zwei verschiedenen Aufgaben ist zu sprechen, wenn sich *stimulus complex* (s.o. Bsp. 3) und/oder *set of instructions* (s.o. Bsp. 2, Bsp. 4) unterscheiden. Ein unterschiedliches Verhalten während der Lösung der Aufgabe (s.o. Bsp. 5) wird dagegen nicht zur Abgrenzung von verschiedenen Aufgaben herangezogen. Dieses erscheint allerdings als nicht unproblematisch für die Prüfung der später aufgestellten Hypothesen (vgl. Kap. 2.4).

Ein weiterer Nachteil dieser Definition ist die eingeschränkte Möglichkeiten zur Klassifizierung von Aufgaben. Eine Klassifizierung müsste sich an Verallgemeinerungen von *stimulus complex* und/oder *set of instructions* orientieren (vgl.

Kap. 2.3.1). Dafür wird jedoch das Problem eines Zirkelschlusses umgangen, indem keine Annahmen einbezogen werden, die erst in Transferexperimenten geprüft werden müssten, wie z.B. Annahmen über zugrunde liegende Fähigkeiten (vgl. Kap. 2.3.2).

Da es praktisch unmöglich ist *stimulus complex* und *set of instructions* absolut identisch zu gestalten, ist jegliche Verhaltensänderung durch Lernen als Transfer zu verstehen und jedes Lernexperiment, in dem aus beobachteter Verhaltensänderung auf Lernen geschlossen wird, ein Transferexperiment (vgl. Dettman, 1993, S. 4; Ellis, 1965, S. 5; Gick & Holyoak, 1987, S. 10; McKeachie, 1987, S. 707; Schmidt & Young, 1987, S. 48-49). Da sich Lernen und Transfer aufgrund von Verhaltensdaten nicht voneinander unterscheiden lassen, findet man auch abweichende Auffassungen vom Verhältnis der Begriffe (z.B. Cook, 1944; Ferguson, 1956). Sie verstehen Transfer nicht als ein Phänomen, das beim Lernen auftritt. Vielmehr sehen sie Transfer als den Oberbegriff für übungsbedingte Verhaltensänderung und Lernen als den Spezialfall von Transfer, bei dem es keine Unterschiede zwischen Übungs- und Transferaufgabe gibt. In Anlehnung an Schmidt und Lee (2005, S. 436) soll für diese Arbeit folgende Definition des Begriffs *Transfer* gelten:

Transfer ist ein Phänomen, das beim Lernen beobachtet werden kann. Transfer bezeichnet die Veränderung des Leistungsvermögens bei einer Aufgabe aufgrund von Übung oder Erfahrung in einer anderen Aufgabe.

Bei der Interpretation von beobachteter Leistungsveränderung als Transfer ist darauf zu achten, dass diese Leistungsveränderung relativ permanent ist und nicht durch Reifung, Erkrankung, hohe Beanspruchung, Medikamente, Drogen, unterschiedliche Aufgabenredefinition der Versuchspersonen, morphologische Anpassungen des Bewegungsapparats oder sonstige störende Einflüsse zu erklären ist.

Es sind verschiedene Klassifikationen von Transfer entwickelt worden. Einige Autoren unterscheiden die Richtung des Transfers. Leistungsverbesserungen im Sinne der Aufgabenstellung des Transfertests werden positiver Transfer,

Leistungseinbußen negativer Transfer genannt (Cormier & Hagman, 1987, S. 4; Ellis, 1965, S. 3; Gick & Holyoak, 1987, S. 10; McGeoch, 1942, S. 394; Schmidt & Lee, 2005, S. 436-437), und gleichbleibende Leistung wird als Nulltransfer bezeichnet (Ellis, 1965, S. 3; McGeoch, 1942, S. 394). Für negativen Transfer findet man auch den Begriff Interferenz (Osgood, 1949, S. 132). Weiterhin wird hinsichtlich der zeitlichen Relation von Übungs- und Transferaufgabe klassifiziert. Wird die Leistung bei einer nachgeschalteten Transferaufgabe beeinflusst, wird von proaktivem Transfer gesprochen. Die Leistungsveränderung einer zuvor geübten Transferaufgabe bezeichnet man als retroaktiven Transfer (Deese & Hulse, 1967, S. 342; Schmidt & Lee, 2005, S. 437). Zusätzlich wird hinsichtlich der Unterschiede zwischen Übungs- und Transferaufgabe unterteilt. Die Begriffe naher Transfer (Detterman, 1993, S. 4-5; Gick & Holyoak, 1987, S. 10), spezifischer Transfer (Detterman, 1993, S. 5; Gick & Holyoak, 1987, S. 11; Singley & Anderson, 1989, S. 2-8) und vertikaler Transfer (Singley & Anderson, 1989, S. 15-20) weisen auf relativ geringe Aufgabenunterschiede hin. Dagegen werden die Begriffe weiter Transfer (Detterman, 1993, S. 5; Gick & Holyoak, 1987, S. 10), genereller Transfer (Detterman, 1993, S. 5; Gick & Holyoak, 1987, S. 11; Singley & Anderson, 1989, S. 2-8) und horizontaler Transfer (Singley & Anderson, 1989, S. 15-20) für relativ größere Aufgabenunterschiede verwendet. Genau definierte Grenzen zwischen den einzelnen Begriffspaaren gibt es allerdings nicht.

Transferfragen haben häufig einen deutlichen Anwendungsbezug (Adams, 1987, S. 44; vgl. Kap. 1). Führt das Programmieren in Logo tatsächlich dazu, dass Kinder mehr leistungsstarke Ideen entwickeln, wie es Papert (1980) behauptet? Wie weit darf sich ein Flugsimulator vom realen Fliegen unterscheiden, damit er in der Pilotenausbildung eingesetzt werden kann (Baudhuin, 1987)? Sollten alpine Skifahrer neben ihrem sportartspezifischen Koordinations-training auch noch üben Einrad zu fahren und auf dem Seil zu balancieren (Martin, Carl & Lehnertz, 1991, S. 54-55), um ihre Rennzeiten zu verbessern? Dieses sind alles Beispiele für konkrete anwendungsorientierte Fragen, die mit Hilfe von Transferexperimenten beantwortet werden können.

Andererseits sind Transferexperimente auch für die Grundlagenforschung von Bedeutung (Adams, 1987, S. 44). Beispielsweise prüfen Heuer und Schmidt (1988) die aus der Schema-Theorie (Schmidt, 1975) abgeleitete Annahme, dass Transfer innerhalb eines generalisierten motorischen Programms sehr groß, bei einer Veränderung des *relative timing* aber deutlich eingeschränkt sein müsste (vgl. Kap. 2.3.1). Und Hossner (1997, S. 226) schlägt am Beispiel der Gleichgewichtsfähigkeit vor Transferexperimente als eine Untersuchungsmethode zur Identifikation von Motorikmodulen einzusetzen.

Einerseits durch grundlagenorientierte, andererseits durch anwendungsorientierte Transferexperimente werden Fortschritte sowohl für Theorien zum motorischen Lernen als auch für anwendungsorientierten Fragen erreicht (vgl. Abb. 1). Grundlagenorientierte Transferexperimente falsifizieren oder bewähren eine Theorie, die dadurch besser als Instrument zur Vorhersage von Transfer zu nutzen ist (vgl. Lewin, 1951, S. 169). Anwendungsorientierte Transferexperimente ermöglichen die Generierung neuer Theorien, indem versucht wird aus der Lösung der konkreten Anwendungsfrage generelle Prinzipien abzuleiten. In dieser Arbeit wird die erste Forschungsstrategie gewählt (vgl. Kap. 1).

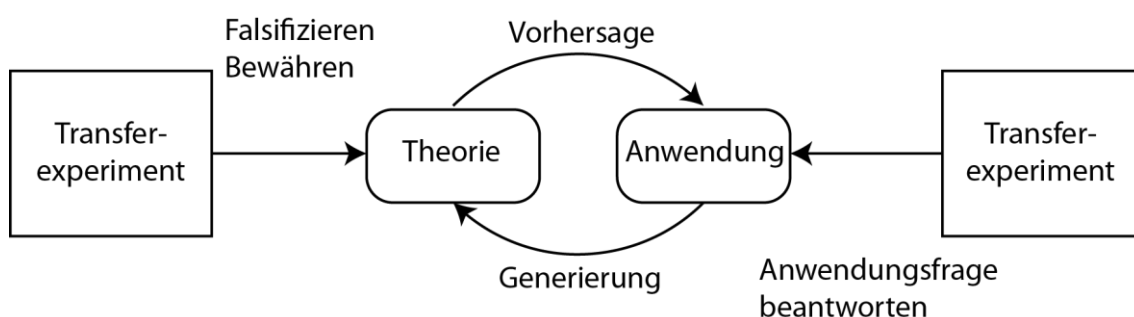


Abb. 1 Nutzen von Transferexperimenten für Theorie und Anwendung.

Transfer wird als eines der wichtigsten Themen der Psychologie genannt und als unerlässlich für die Entwicklung von Lerntheorien angesehen (Deese & Hulse, 1967, S. 340; Ferguson, 1956, S. 123; Gick & Holyoak, 1987, S. 21). Trotz seiner großen Bedeutung ist der wissenschaftliche Kenntnisstand zum Transfer, gerade bei motorischen Aufgaben, aber noch defizitär (Olivier, Marschall & Büsch, 2008, S. 170; Schmidt & Young, 1987, S. 74).

2.1.3 Historischer Rückblick auf die Anfänge experimenteller Transferforschung

Die Geschichte der experimentellen Beschäftigung mit *Transfer* kann mehr als 100 Jahre zurückverfolgt werden. Häufig werden die Experimente und theoretischen Überlegungen von Thorndike und Woodworth (1901a, 1901b, 1901c) als Ausgangspunkt für die psychologische Auseinandersetzung mit Transfer herausgestellt (Adams, 1987; Deese & Hulse, 1967; Detterman, 1993; Ellis, 1965; Fleishman, 1987; Magill, 2011; Schmidt & Lee, 2005).

Thorndike und Woodworth formulierten in ihrer *identical elements theory* eine Gegenposition zur um die Wende zwischen dem 19. und dem 20. Jahrhundert verbreiteten *doctrine of formal discipline*, die auf Locke (1706) zurückgeht. In ihr wurde angenommen, dass der menschliche Geist in so genannte *faculties*, wie Schlussfolgern, Aufmerksamkeit und Gedächtnis untergliedert ist. Das Training einer *faculty* (durch das Üben von Aufgaben, von denen angenommen wurde, dass sie von dieser *faculty* abhängig sind) würde diese *faculty* stärken. Dieses würde sich positiv auf alle Bereiche auswirken, denen diese *faculty* zugrunde liegt. Ein gutes Beispiel für dieses Verständnis ist Lockes Begründung der Notwendigkeit des Mathematikunterrichts, in der er sogar den Begriff *Transfer* benutzt: „Having got the way of reasoning, which that study necessarily brings the mind to, they might be able to transfer it to other parts of knowledge as they shall have occasion“ (1706, S. 30). Noch bis ins 20. Jahrhundert hinein wurden die weiten Transferannahmen genutzt um Schulfächer mit geringer praktischer Bedeutung, wie beispielsweise Latein, zu verteidigen (Jeffords, 1927, S. 582-583).

Thorndike und Woodworth (1901a) führten den Begriff *function* für die mentale Basis verschiedenster Aufgaben und *function-group* anstelle von *faculty* ein (S. 247-248). In ihren Experimenten testeten sie die Leistungen einer oder mehrerer *functions*. Dann ließen sie eine oder mehrere andere *functions* trainieren und abschließend die ersten Tests wiederholen. Sie untersuchten, wie sich ein Feedback-Training zum Einschätzen der Größe von Rechtecken sich auf das Einschätzen der Größe von anderen Flächen auswirkt. Dabei zeigten sie, dass sich die Fehler in den Einschätzungen der Größe von Flächen, die den Recht-

ecken der Übungsbedingungen in Form und Größe ähnlich waren, stärker reduzierten als die Fehler beim Einschätzen unähnlicher Flächen (1901a). In weiteren Experimenten untersuchten sie Transfereffekte beim Einschätzen von Gewichten und Längen (1901b) sowie dem Markieren von Wörtern, die bestimmte Buchstaben enthalten (1901c). Auch hier konnten sie keinen weiten Transfer feststellen. Daraus schlussfolgerten sie, dass ein Verständnis von Wahrnehmungsgenauigkeit, Aufmerksamkeit, Gedächtnis, Genauigkeit, Schnelligkeit usw. als generelle Fähigkeiten, irreführend sei, da unter diesen Begriffen zahlreiche *functions* zusammengefasst würden, die wenig gemeinsam haben. Und es gäbe keinen Grund zur Annahme, dass Üben zu generellen Verbesserungen führe, wie beispielsweise der Ausdruck *Verbesserung der Aufmerksamkeit* vermuten lasse. Selbst eingeschränkte Einheiten, wie die *Aufmerksamkeit auf Wörter* seien mythologische Einheiten (1901a, S. 249). Sie gehen davon aus, „that spread of practice occurs only where identical elements are concerned in the influencing and influenced function.“ (1901a, S. 250). Mit dieser Aussage prägten sie den Begriff *identical elements theory*. Allerdings blieben sie eine genauere Definition davon, was ein *element* überhaupt sei, schuldig. Stattdessen hofften sie, dass diese Frage in späteren Transferexperimenten geklärt werden könne (1901c, S. 564).

Seit Thorndike und Woodworth (1901a, 1901b, 1901c) wird die *Ähnlichkeit* von Übungs- und Transferaufgaben als zentrales Kriterium für eine Vorhersage von Transfer angesehen (Schmidt & Lee, 2005). Beispielsweise versuchten Skaggs (1925) und Robinson (1927), die Richtung und Größe des Transfers als Funktion der Aufgabenähnlichkeit darzustellen (Abb. 2).

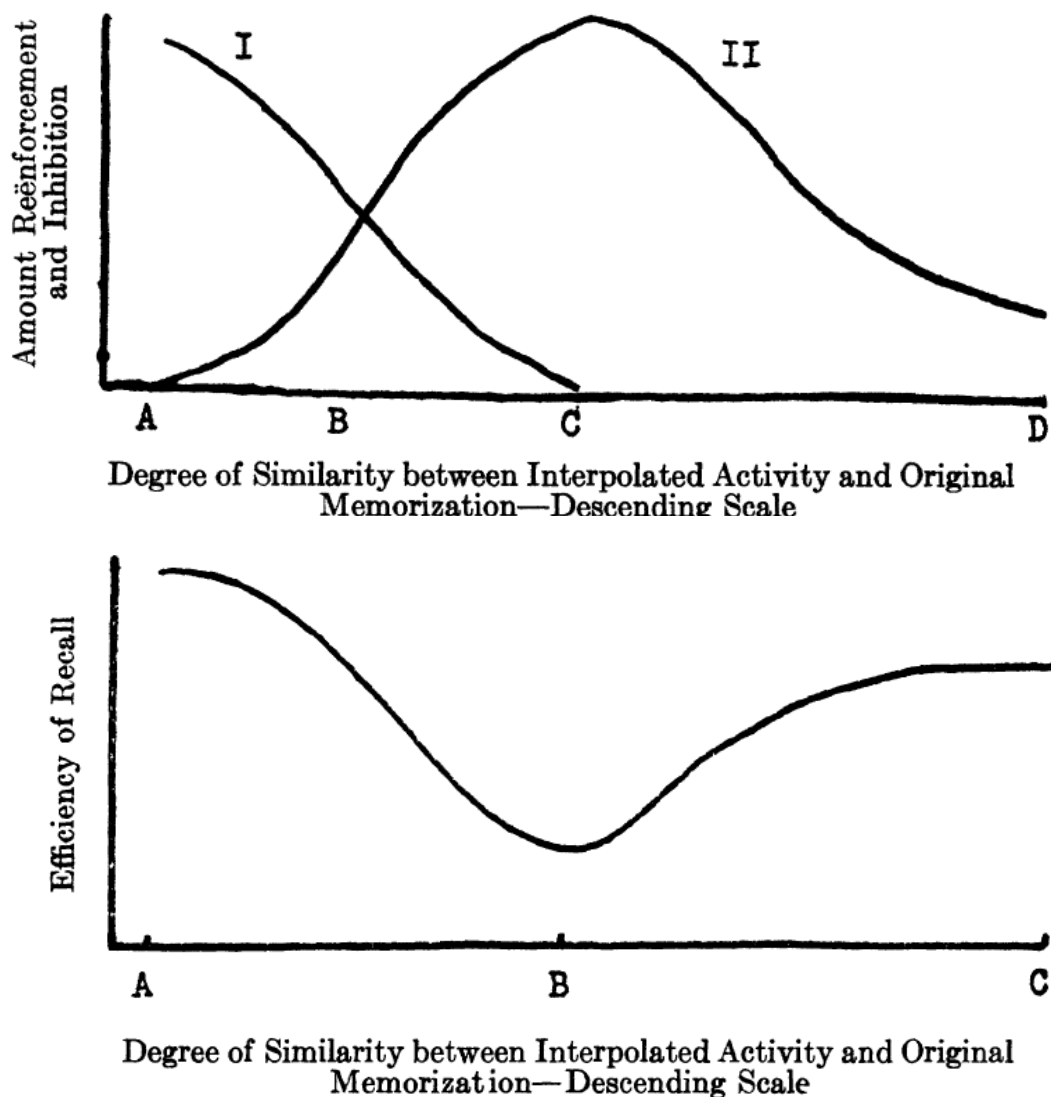


Abb. 2 Angenommene Zusammenhänge zwischen Aufgabenähnlichkeit und Transfer.
oben: nach Skaggs (1925, S. 31); unten: nach Robinson (1927, S. 299).

Robinson (1927) ist es allerdings bewusst, dass eine genaue Definition von *Ähnlichkeit* fehlt und dass es nicht möglich ist *Ähnlichkeit* zu quantifizieren (S. 301-302). Trotzdem operationalisiert er *Ähnlichkeit* in seinen Experimenten über die Anzahl der identischen Konsonanten beim Erlernen von Konsonantenreihen. Allerdings weichen seine experimentell gefundenen Transfer-Ähnlichkeits-Kurven von der vorhergesagten Kurve ab (Abb. 3).

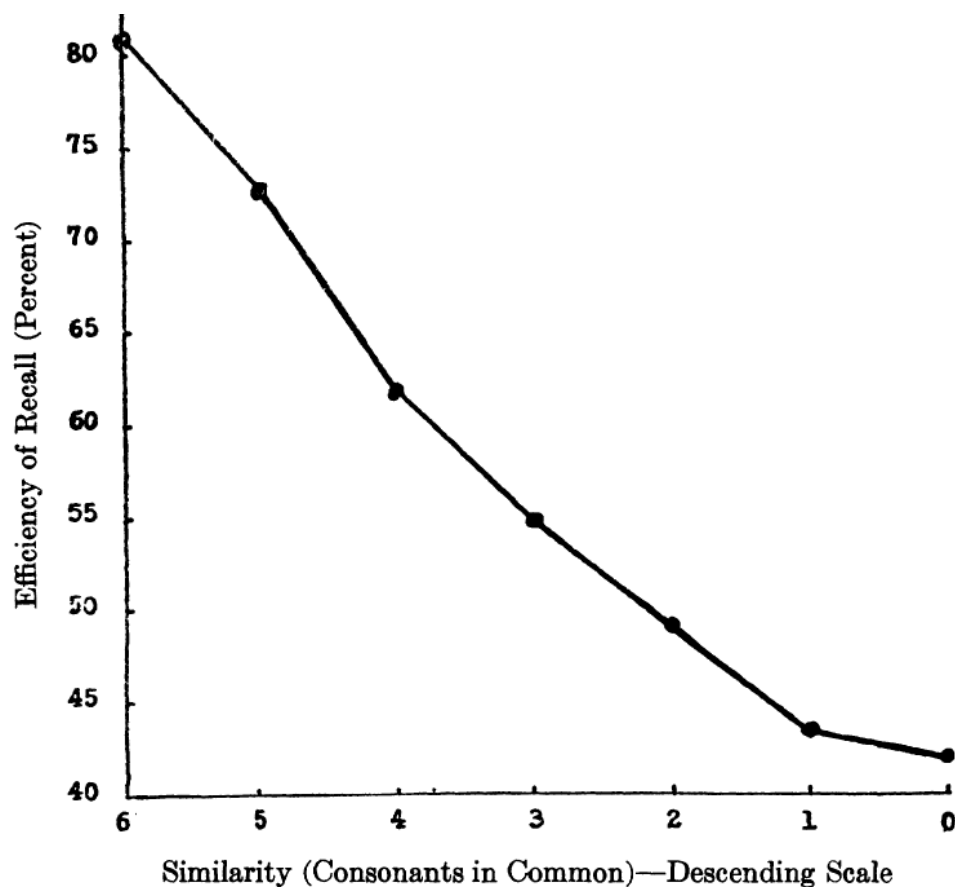


Abb. 3 Experimentell gefundener Zusammenhang zwischen Aufgabenähnlichkeit und Transfer (Robinson, 1927, Experiment 3, S. 311)

In seiner *transfer and retroaction surface* (Abb. 4) zum verbalen Lernen unterteilt Osgood (1949) *Ähnlichkeit* in die zwei Dimensionen, die er den Begriffen *stimulus* und *response* des klassischen Behaviorismus (Watson, 1913) zuordnet. Positiven Transfer nimmt er bei gleichzeitig hoher *Ähnlichkeit* von *stimulus* und *response* an. Für hohe *Ähnlichkeit* von *response*, aber geringe *Ähnlichkeit* von *stimulus* erwartet er Nulltransfer, genau wie für den Fall, dass sowohl *stimulus* als auch *response* geringe *Ähnlichkeit* aufweisen. Bei hoher *Ähnlichkeit* von *stimulus*, aber geringer *Ähnlichkeit* der *response* erwartet er negativen Transfer.

THE TRANSFER AND RETROACTION SURFACE

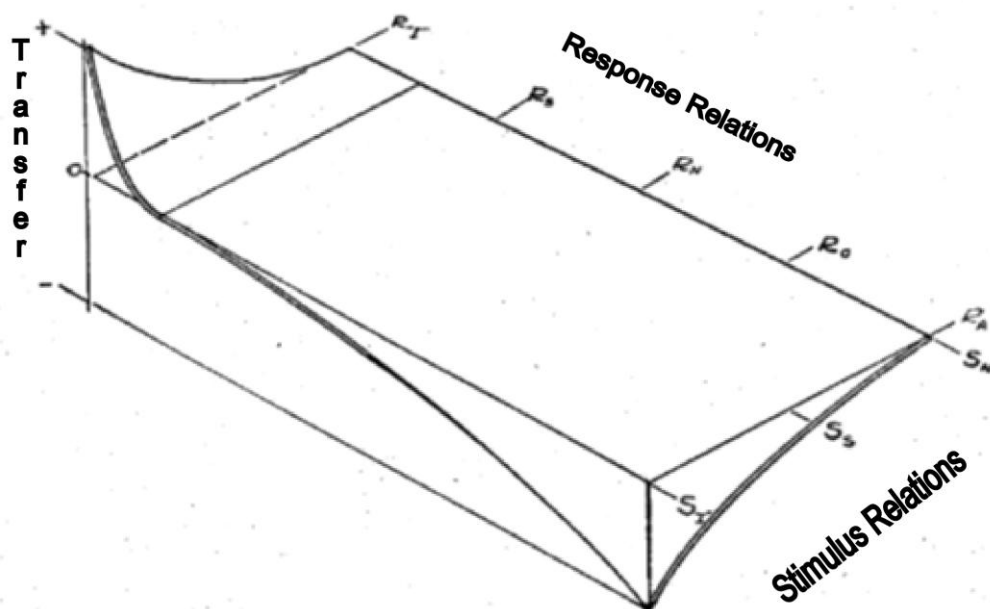


Abb. 4 The Transfer and Retroaction Surface nach Osgood (1949, S. 140).

Holding (1976) unternimmt den Versuch eine grafische Darstellung einer so genannten *transfer surface* (Abb. 5) für motorische Fertigkeiten aufzustellen. Die Unterschiede im Vergleich zu Osgoods (1949) *transfer and retroaction surface* bestehen darin, dass auch für geringe *stimulus-Ähnlichkeit* und hohe *response-Ähnlichkeit* positiver Transfer erwartet wird. Außerdem berücksichtigt er die Schlussfolgerungen eines Reviews zum motorischen Lernen (Bilodeau & Bilodeau, 1961, S. 261), wonach negativer Transfer eher selten auftritt, dann auch nur klein ist und schnell in positiven Transfer umgewandelt wird.

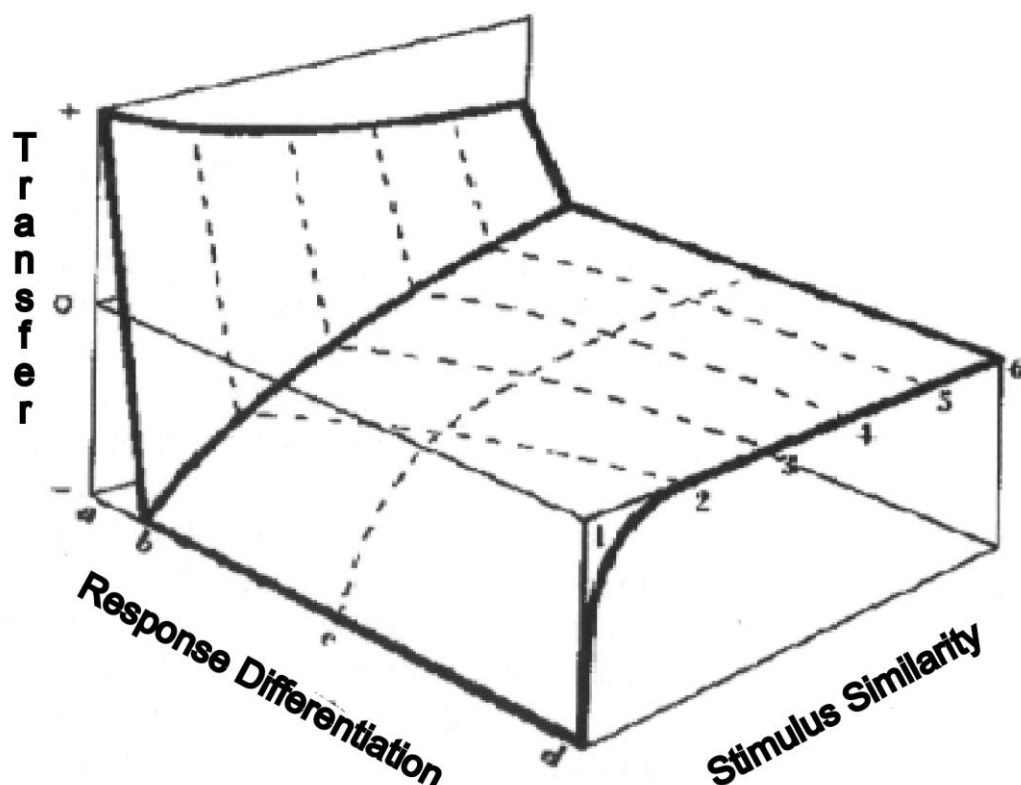


Abb. 5 Transfer Surface nach Holding (1976, S. 7). Anzumerken ist, dass der Fall identischer Stimuli (1a-1d) für irreal gehalten wird (Holding, 1976, S. 7; vgl. Kap. 2.1.2).

2.1.4 Transfer und Ähnlichkeit

Auch wenn die Identical Elements-Theorie von Thorndike und Woodworth (1901a, 1901b, 1901c) inzwischen über 100 Jahre alt ist und ohne Berücksichtigung motorischer Experimente generiert wurde, beeinflusst sie dennoch auch noch heute das Verständnis von Transfer, sowohl für kognitive als auch für motorische Aufgaben (Singley & Anderson, 1989, S. vii-viii; Schmidt & Lee, 2005, S. 454). Das zentrale Problem in der Vorhersage von Transfer bleibt allerdings die Frage, was ein *element* ist bzw. wie *Ähnlichkeit* quantifiziert werden kann. Die verschiedenen Versuche Transfer als Funktion der Aufgabenähnlichkeit darzustellen (Kap. 2.2) weisen das Problem auf, dass diese maximal in zwei Dimensionen unterteilt wird. Bei der Beschreibung von Aufgaben könnten aber unbegrenzt viele Arten von Ähnlichkeit berücksichtigt werden (vgl. Popper, 2005, S. 445-447; vgl. auch Definition *Aufgabe*, Kap. 2.1.2). Deshalb können

die o.g. Versuche, die Transfer als Funktion der Ähnlichkeit darstellen, lediglich als grobe Richtlinie und nicht als Modell zur Vorhersage von Transfer verstanden werden (Holding, 1976, S. 7). Im Folgenden werden verschiedene Ansätze diskutiert, aus denen abzuleiten versucht wird, welche Dimensionen von Ähnlichkeit im Zusammenhang mit Transfervorhersagen besonders zu berücksichtigen sind.

2.1.4.1 Ähnlichkeit der zugrunde liegenden motorischen Fertigkeiten

Einer der Ansätze besagt, dass die motorischen Fertigkeiten, die bei der Bewältigung von Übungs- und Transferaufgabe eingesetzt werden, einen wichtigen Aspekt der *Aufgabenähnlichkeit* ausmachen (vgl. Kap. 2.3.2 zum Ansatz, dass die zugrunde liegenden Fähigkeiten Transfer bedingen). Darüber, was die Ähnlichkeit motorischer Fertigkeiten ausmacht, herrscht allerdings Uneinigkeit, die bislang noch nicht endgültig geklärt worden ist (*Motor-Action Controversy*; Meijer & Roth, 1988). Beispielsweise kann aus der Schema-Theorie (Schmidt, 1975), die dem *Motor Approach* zugeordnet wird, motorischer Transfer innerhalb einer Klasse von Bewegungen (*generalisiertes motorisches Programm, GMP*) abgeleitet werden. Nach Schmidt (1975) führt das Üben einer Aufgabe dazu, dass Regeln zu den Zusammenhängen von Ausgangsbedingungen, eingesetzten Parametern und Bewegungsergebnissen (*recall schema*) sowie von Ausgangsbedingungen, sensorischen Konsequenzen und Bewegungsergebnissen (*recognition schema*, S. 236) gebildet werden. Auf Grundlage der entwickelten Schemata wäre es dem Übenden möglich auch die Leistung bei Aufgaben zu verbessern, bei denen das gleiche GMP beteiligt ist, die sich aber in den Ausgangsbedingungen und/oder dem beabsichtigten Bewegungsergebnis unterscheiden. Zwischen Fertigkeiten mit unterschiedlicher *order of events*, *relative timing* oder *relative force* wäre kein Transfer zu erwarten. Heuer und Schmidt (1988) widerlegten allerdings diese Vorhersage, indem sie Transfer bei Ellenbogenbewegungen mit unterschiedlichem *relative timing* nachweisen konnten. Sie schließen daraus, dass das *relative timing* kein zwingend notwendiges Merkmal verschiedener Bewegungen innerhalb eines GMP ist, sondern ein aus strategischen Gründen bevorzugtes zeitliches Muster (S. 251).

Theorien des *Action Approach* unterscheiden sich grundlegend von denen des *Motor Approach*. Beispielsweise wird aus systemdynamischer Perspektive angenommen, dass Koordinationsmuster nicht durch motorische Programme, sondern durch Interaktion der Person mit der Aufgabe und der Umwelt selbst-organisiert entstehen. Lernen ist nach diesem Ansatz dadurch gekennzeichnet, dass sich Attraktoren verändern. Diese Veränderungen können sich auch auf andere Aufgaben auswirken und so Transferphänomene erklären (Kelso, 1995). Zanone und Kelso (1992) konnten bei einer Fingerkoordinationsaufgabe zeigen, dass das Neulernen einer 90°-Phasenverschiebung auch eine Ausbildung eines Attraktors für eine 270°-Phasenverschiebung zur Folge hat. Nach diesem Ansatz könnten Gemeinsamkeiten der aufgabenspezifischen *coordination dynamics*, wie *phase relationships*, zu Transfer führen (Magill, 2011, S. 291).

2.1.4.2 Ähnlichkeit sensorischer Kontrollprozesse

Weiterhin könnte die Ähnlichkeit der beteiligten sensorischen Kontrollprozesse für Transfer verantwortlich sein. Im Gegensatz zu der Annahme, dass sich die Bedeutung der Information verschiedener sensorischer Systeme im Laufe eines Lernprozesses verschiebt (Fleishman & Rich, 1963) oder sich die Bedeutung sensorischer Rückmeldungen aufgrund einer Verlagerung von closed-loop Kontrollprozessen zu einer open-loop Kontrolle reduziert (Schmidt, 1975), geht Proteau (1992) davon aus, dass visuelle Information auch in fortgeschrittenen Lernstadien von hoher Bedeutung bleibt bzw. die Bedeutung visueller Information sogar noch ansteigt. Er vermutet, dass die während des Lernens relevante Information in die zentrale Repräsentation der Bewegung integriert wird (S. 96). Demnach gäbe es Schwierigkeiten für Lernende, wenn in Transfertests relevante sensorische Information der Übungsphase entzogen wird oder zusätzlich zur Verfügung gestellt wird.

Unterstützung für diese Annahme findet Proteau in Transferexperimenten seiner Arbeitsgruppe (Proteau & Cournoyer, 1990; Proteau, Marteniuk, Girouard & Dugas, 1987; Proteau, Marteniuk & Lévesque, 1992), bei denen die visuellen Bedingungen bei Zeigebewegungen zwischen Übungsphase und Transfertest verändert wurden. Zum Beispiel ließen Proteau et al. (1987) zwei Versuchs-

gruppen (VG; 200 Übungsversuche/2000 Übungsversuche) Zeigebewegungen unter normalen Bedingungen (Ziel und Arm sichtbar) üben. Zwei andere VGn (200 Übungsversuche/2000 Übungsversuche) hatten nur visuelle Information über die Lage des Zielpunkts. Für die VGn, die unter normalen visuellen Bedingungen übten, zeigten sich Leistungseinbußen im Transfertest, in dem nur das Ziel sichtbar war. Besonders die VG mit großem Übungsumfang schien anfällig für die veränderten visuellen Bedingungen zu sein. Proteau et al. (1992) konnten sogar zeigen, dass im Transfertest zusätzlich zur Verfügung stehende Information (Arm sichtbar; während der Übungsphase nur Ziel sichtbar) zu Leistungseinbußen führen kann.

Robertson und Elliott (1996; vgl. Kap. 2.3.4) überprüften Proteaus (1992) Annahmen an der Aufgabe einen Schwebebalken so schnell wie möglich zu überqueren. Die VPn übten entweder mit oder ohne visuelle Information und wurden unter beiden Bedingungen getestet. Ihre Ergebnisse zeigen, dass für beide VGn auch nach fünf Übungstagen eine große Abhängigkeit von visueller Information bestehen bleibt. Bei den Tests ohne visuelle Information zeigen sich größere Verbesserungen für diejenige VG, die auch während der Übungsphase keine visuelle Information zur Verfügung hatte. Im Gegensatz zu den Annahmen Proteaus (1992) verbesserte aber auch die VG, die mit visueller Information übte, ihre Leistung bei dem Test ohne visuelle Information. Diese Ergebnisse wurden allerdings nicht durch den Vergleich mit einer Kontrollgruppe (KG) abgesichert. Der Transfer von Übung ohne visuelle Kontrolle auf Tests mit visueller Kontrolle ist in diesem Experiment schwer zu überprüfen, da es einen Deckeneffekt bei den Tests mit visueller Kontrolle gab. Auch wenn Robertson und Elliott (1996) keinen negativen Transfer bei Veränderung der visuellen Bedingungen nachweisen können, interpretieren sie ihre Ergebnisse als eine Bestätigung einer moderaten Spezifitätshypothese (S. 74).

Insgesamt weisen die Experimente auf eine Spezifität der sensorischen Kontrollprozesse hin und lassen erwarten, dass Transfer abhängig von der Bedeutung der beteiligten sensorischen Teilsysteme in Übungs- und Transferaufgabe ist.

2.1.4.3 Ähnlichkeit von Verarbeitungsaktivitäten

Die Ähnlichkeit von motorischen und sensorischen Kontrollprozessen zwischen Übungs- und Transferaufgabe kann allerdings nicht alle empirischen gefundenen Leistungsunterschiede in Transfertests zwischen Gruppen mit verschiedenen Übungsbedingungen erklären. Zum Beispiel werden bei Kontext-Interferenz-Experimenten die gleichen Aufgaben unter den gleichen sensorischen Bedingungen, jedoch mit unterschiedlich häufigem Wechsel der Aufgaben, geübt (Shea & Morgan, 1979). In Retentions- und Transfertests zeigen sich häufig diejenigen VGn überlegen, die mit häufigerem Aufgabenwechsel übten (Reviews: Brady, 2004, 2008; Magill & Hall, 1990; Wiemeyer, 1998). Eine mögliche Erklärung für diese (und andere) Transferunterschiede ist das Konzept des *Transfer-Appropriate Processing* (Bransford, Franks, Morris & Stein, 1979; auf motorische Aufgaben bezogen: Lee, 1988). Demnach ist für Transfer entscheidend, ob die Verarbeitungsaktivitäten (*processing activities*, Lee, 1988, S. 201), die zur Bewältigung der Übungsphase genutzt werden und jene, die benötigt werden um gute Leistungen beim Transfertest zu erreichen, übereinstimmen.

2.1.4.4 Zusammenfassung

Die in diesem Kapitel vorgestellten Ansätze zur *Aufgabenähnlichkeit* beziehen sich allesamt auf die Interaktion von Person und Aufgabe. Es ist also anzunehmen, dass nicht allein die objektive Aufgabenbeschreibung (Kap. 2.1.2) für das Auftreten von Transfer entscheidend ist. Stattdessen müssen Annahmen über die an der Aufgabenbewältigung beteiligten Teilsysteme und –prozesse in Transfervorhersagen einbezogen werden (vgl. Kap. 2.4).

Im folgenden Kapitel werden Grundlagen zur Kontrolle des motorischen Gleichgewichts vorgestellt. Der Schwerpunkt wird dabei auf Aspekte gelegt, die für den Transfer von Bedeutung sein könnten.

2.2 Gleichgewicht

2.2.1 Mechanisches Gleichgewicht starrer Körper

Um das Verständnis von motorischem Gleichgewicht vorzubereiten wird häufig die vereinfachte Betrachtung des mechanischen Gleichgewichts starrer Körper genutzt (Chapman, 2008, S. 56-57; Kreighbaum & Barthels, 1996, S. 129; Olivier & Rockmann, 2003, S. 118). Damit ein starrer Körper im Gleichgewicht ist, müssen zwei notwendige und hinreichende Bedingungen erfüllt sein. „Die Resultierende aller wirkenden Kräfte muss gleich null sein. Die Summe aller Drehmomente muss gleich null sein.“ (Kuchling, 2011, S. 60). Es werden drei Gleichgewichtsarten definiert, die sich darin unterscheiden, wie sich die Lage des Körperschwerpunkts (KSP) bei einer Bewegung des Körpers verhält (vgl. Abb. 6): Ein stabiles Gleichgewicht ist dadurch gekennzeichnet, dass der Körperschwerpunkt bei einer Bewegung angehoben wird. In einem labilen Gleichgewichtszustand senkt er sich ab und in einem indifferenten Gleichgewicht bleibt er während einer Bewegung des Körpers auf gleicher Höhe (Kuchling, 2011, S. 67). In einem labilen Gleichgewichtszustand liegt der Körperschwerpunkt lotrecht oberhalb der Kippkante, deshalb kippt der Körper schon bei sehr kleinen Kräften mit orthogonal zur Gewichtskraft wirkenden Komponenten. Bei einem stabilen Gleichgewicht liegt der Körperschwerpunkt lotrecht oberhalb der Unterstützungsfläche.

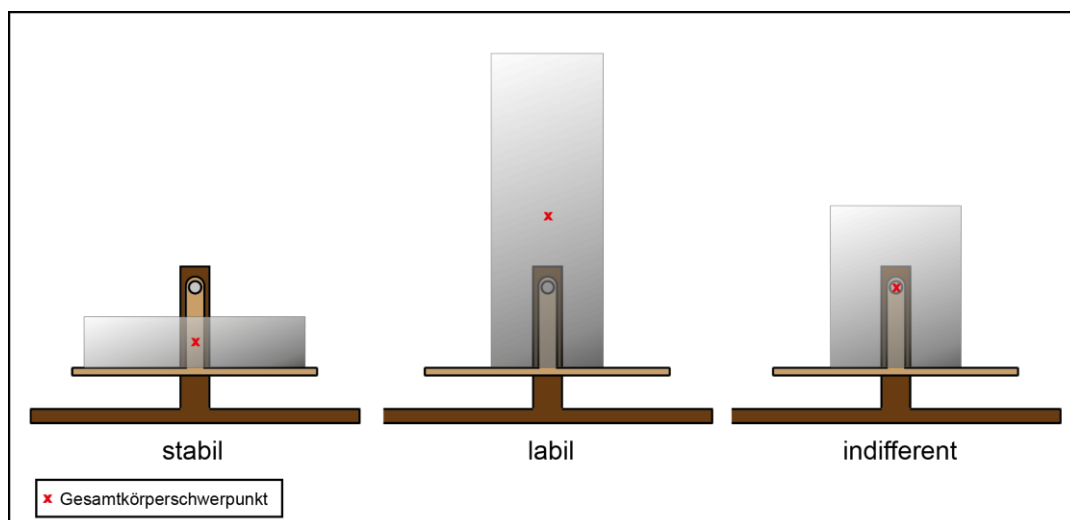


Abb. 6 Verschiedene Gleichgewichtszustände eines Körpers auf einem Stabilometer.

Das Kippmoment, das benötigt wird um den Körper aus dem stabilen Gleichgewicht zu bringen, ist ein Maß für die Standfestigkeit des Körpers. Die für das Kippen eines Körpers im stabilen Gleichgewicht erforderliche Kraft ist abhängig von der Höhe ihres Angriffspunktes, der Gewichtskraft des Körpers und dem Abstand zwischen Kippkante und Schwerpunktslot (Kuchling, 2011, S. 67; Abb. 7).

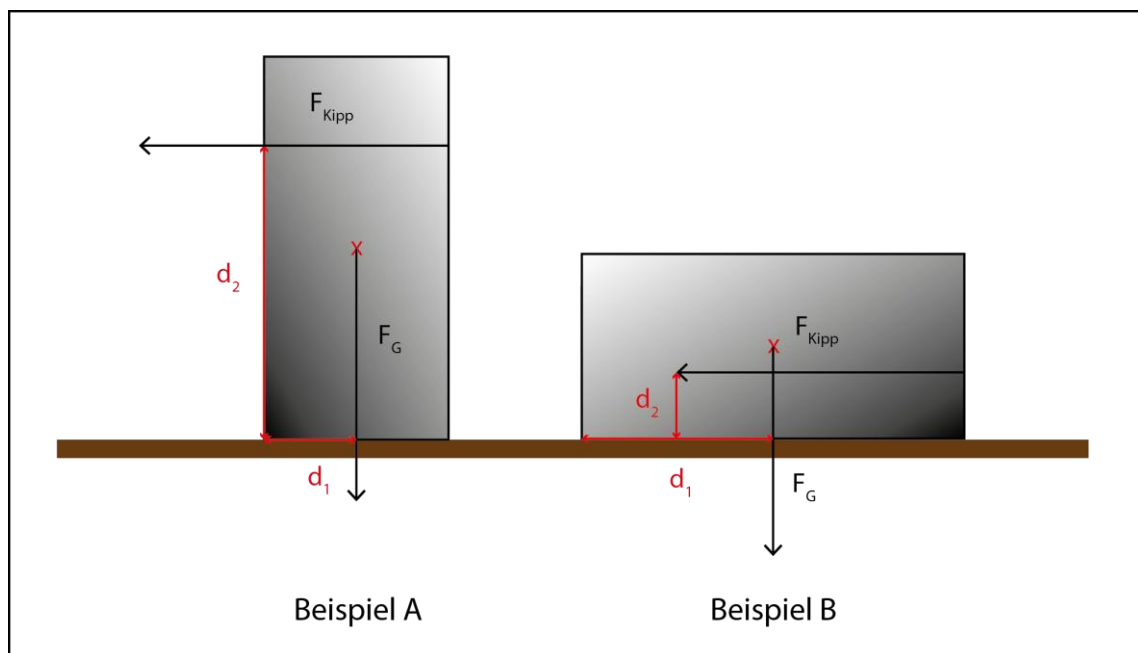


Abb. 7 Kippmoment (modifiziert nach Kuchling, 2011, S. 67). F_G : Gewichtskraft, F_{Kipp} : Kippkraft, d_1 : Abstand zwischen Schwerpunktslot und Kippkante, d_2 : Abstand zwischen horizontaler Komponente der Kippkraft und Kippkante. In Beispiel A reicht das Kippmoment aus, um den Körper zu kippen, in Beispiel B ist es zu gering.

2.2.2 Motorisches Gleichgewicht

Diese mechanische Betrachtung des Gleichgewichts starrer Körper wird dem motorischen Gleichgewicht des Menschen nicht gerecht. Der menschliche Körper kann nicht als starrer Körper verstanden werden, sondern ist verformbar. Er befindet sich im aufrechten Stand nie für längere Zeiträume in einem mechanischen Gleichgewichtszustand (Hinsdale, 1887, S. 480), weil einerseits durch Muskelkräfte der Schwerkraft entgegengewirkt werden muss (Nashner & McCollum, 1985, S. 138) und der Mensch nicht in der Lage ist diese über längere Zeiträume konstant zu halten (Sherwood & Smith, 1980). Andererseits kommt es außerdem permanent zu Bewegungen von Teilkörpermassen auf-

grund wechselnder innerer Kräfte, die durch die Arbeit innerer Organe entstehen (Olivier & Rockmann, 2003, S. 119) und nicht zeitgleich durch andere Kräfte ausgeglichen werden. Somit kann die Resultierende aller wirkenden Kräfte nicht für eine längere Dauer gleich null sein. Vielmehr kann das motorische Gleichgewicht als Ungleichgewicht mit wechselnden Vorzeichen und dem Mittelwert null verstanden werden (vgl. Chapman, 2008, S. 57). Allerdings dürfen dabei bestimmte Grenzwerte nicht überschritten werden. Beispielsweise könnten Kippmomente (vgl. Kap. 2.2.1) jenseits der Grenzwerte zum kurzfristigen Verlassen der gewünschten Haltung führen. Diese Grenzwerte unterscheiden sich aufgrund der Aufgabenstellung und der Umgebungsbedingungen, sowie aufgrund der interindividuellen Voraussetzungen. Durch einen breiteren Stand wird der Abstand zwischen Kippkante und Schwerpunktslot in medial-lateral größer, durch eine Schrittstellung in anterior-posterior, was die Standstabilität in der jeweiligen Richtung vergrößert. Das Stehen auf nur einem Fuß oder auf einer verhältnismäßig kleinen Unterstützungsfläche (Horak & Nashner, 1986; Asaka, Yahata, Mani & Wang, 2011) reduziert dagegen die Standstabilität. Auch eine höhere vertikale Position des KSPs führt zu geringeren tolerierbaren Grenzwerten, weil sich der Abstand zwischen Kippkante und Schwerpunktslot bei Rotationen um die Kippkante schneller verringert. Interindividuelle Unterschiede im Fertigniveau der posturalen Reaktionen auf Störungen des Gleichgewichts (vgl. Kap. 2.2.4) beeinflussen ebenfalls diese Grenzwerte. Eine größere Körpermasse sowie größere Füße bedingen eine größere Standfestigkeit (Kap. 2.2.1), die Schuhgröße besonders in anterior-posterior.

Aus den mechanischen Überlegungen zur Standstabilität lässt sich der Vorschlag ableiten, dass die Lage des Körperschwerpunkts relativ zur Unterstützungsfläche diejenige Variable ist, die vom motorischen System kontrolliert wird um das motorische Gleichgewicht aufrecht zu halten (Dietz, 1992, S. 33; Massion, 1992, S. 31, S. 37). Für verschiedene Aufgabenstellungen und Umgebungsbedingungen wurde gezeigt, dass sich bei erfolgreichen Versuchen der KSP tatsächlich lotrecht über der Unterstützungsfläche befand. Dieses ist für Vorwärts- und Rückwärtsbeugungen des Oberkörpers in unterschiedlichen Geschwindigkeiten, unterschiedlichen Amplituden (Crenna, Frigo, Massion & Pe-

dotti, 1987; Alexandrov, Frolov & Massion, 1998), mit Zusatzlasten (Vernazza, Alexandrov & Massion, 1996) und auf einem Wackelbrett (Vernazza-Martin, Martin, Le Pellec-Muller, Tricon & Massion, 2006) gezeigt worden. Scholz und Schöner (1999) weisen nach, dass beim Aufstehen aus dem Sitzen die Variabilität der KSP-Position geringer ist als die der beteiligten Gelenke. Daraus schließen sie, dass die KSP-Position tatsächlich diejenige Variable ist, die vom motorischen System kontrolliert wird. Es wird vermutet, dass auch während des Abspreizen eines Beins (Mouchnino, Aurenty, Massion & Pedotti, 1992), des Anhebens der Zehenspitzen oder der Fersen (Nardone & Schieppati, 1988), des Anhebens eines Arms nach vorn auf Schulterhöhe (Bouisset & Zattara, 1981), bei Ganzkörperbewegungen zum Erreichen des Bodens mit der Hand (Stapley, Pozzo, Cheron & Grishin, 1999), im Handstand (Clément & Rézette, 1985), bei Translation der Standfläche nach hinten (Scholz, Schöner, Hsu, Jeka, Horak & Martin, 2007) und beim Gehen (Lugade, Lin & Chou, 2011; Verrel, Lövdén & Lindenberger, 2010) die Position des KSPs kontrolliert wird, um das motorische Gleichgewicht zu halten. Selbst unter veränderten Schwerkraftbedingungen (Horstmann & Dietz, 1990; Mouchnino et al., 1996) scheinen Menschen zu versuchen die Position des KSPs zu kontrollieren.

Die Position des KSPs relativ zur Unterstützungsfläche scheint eine entscheidende Variable zur Kontrolle des motorischen Gleichgewichts zu sein. Im aufrechten Stand begrenzt die Unterstützungsfläche, die durch die Füße gebildet wird, den Bereich, in dem das Schwerkraftslot variieren kann. In Abhängigkeit von der Aufgabenstellung können sich diese Grenzen aber verändern. Darüber hinaus haben individuelle Voraussetzungen und Umweltbedingungen einen Einfluss darauf, wie groß Störungen des Gleichgewichts sein können, ohne dass sie zu einem Verlust des Gleichgewichts führen. Deshalb soll die folgende Definition von Olivier und Rockmann (2003) als Arbeitsdefinition übernommen werden.

Ein menschlicher Körper ist dann im motorischen Gleichgewicht, wenn die Resultierende aller wirkenden Kräfte und die Summe aller Drehmomente bestimmte Werte nicht überschreiten. Diese Werte variieren in Abhängigkeit von der gestellten Aufgabe sowie individuellen und äußeren Voraussetzungen. (S. 118)

2.2.3 *Physiologische Grundlagen der motorischen Gleichgewichtskontrolle*

Um das motorische Gleichgewicht zu kontrollieren und ein Überschreiten der Grenzwerte für Kräfte und Drehmomente zu verhindern (vgl. Kap. 2.2.2) muss Information aus verschiedenen sensorischen Systemen in verschiedenen Instanzen des zentralen Nervensystems verarbeitet und integriert werden, sodass mit situationsangepassten Kontraktionen der Arbeitsmuskulatur auf Störungen reagiert (Kap. 2.2.4.1) oder Störungen antizipatorisch entgegengewirkt werden kann (Kap. 2.2.4.2).

2.2.3.1 Beteiligte sensorische Systeme

2.2.3.1.1 Das visuelle System

Die Augen sind die Sinnesorgane des visuellen Systems. Sie bestehen jeweils aus einem lichtbrechenden Anteil und einem lichtwahrnehmenden Anteil (Eysel, 2007, S. 380; Trepel, 2005, S. 297). Zu dem lichtbrechendem Anteil gehören Hornhaut, Kammerwasser, Linse und Glaskörper (Eysel, 2007, S. 381). Der lichtwahrnehmende Teil besteht aus der Netzhaut (*retina*). Die Brechkraft der Linse kann durch Akkomodation aktiv verändert werden, wodurch Objekte in unterschiedlicher Entfernung zum Auge auf dem lichtwahrnehmenden Teil der Netzhaut abgebildet werden können (Eysel, 2007, S. 384-385; Schünke et al., 2006, S. 127). Die Rezeptoren des visuellen Systems sind die Photorezeptoren, die in der äußersten Netzhautschicht lokalisiert sind (Eysel, 2007, S. 392-393; Schünke et al., 2006, S. 131; Trepel, 2005, S. 302). Sie wandeln Lichtreize, die zuerst die anderen Schichten der Netzhaut durchdringen, in elektrochemische Signale um. Es gibt Zapfen, die empfindlich für unterschiedlich farbiges Licht sind, Stäbchen reagieren dagegen nur auf Helligkeitsunterschiede mit einer Aktivitätsänderung (Eysel, 2007, S. 392; Trepel, 2005, S. 301-302; Schünke et al., 2006, S. 131). Die größte Dichte der Zapfen findet man im Bereich des gelben Flecks (*fovea centralis*). Die Stäbchendichte ist in der Peripherie der Netzhaut größer (Trepel, 2005, S. 302; Schünke et al., 2006, S. 131).

Eine erste neuronale Verarbeitung der optischen Information findet bereits in der Netzhaut statt. Die elektrochemischen Signale aus Stäbchen und Zapfen

werden an bipolare Nervenzellen weitergeleitet (2. Neuron der Sehbahn), die untereinander durch Horizontalzellen und amakrine Zellen verbunden sind. Die Verschaltung auf die Ganglienzellen (3. Neuron der Sehbahn) findet in einer inneren Schicht der Netzhaut statt. Die Axone der Ganglienzellen bilden die innere Grenzsicht der Netzhaut und vereinen sich im blinden Fleck zum Sehnerv (*nervus opticus*, Hirnnerv II, Eysel, 2007, S. 393; Trepel, 2005, S. 303; Schünke et al., 2006, S. 131).

Im weiteren Verlauf des *nervus opticus* kreuzen die nasalen Anteile im *chiasma opticum*, sodass im anschließenden *tractus opticus* die ipsilateralen temporalen und kontralateralen nasalen Nervenfasern verlaufen (Eysel, 2007, S. 401; Trepel, 2005, S. 224). Der größte Anteil des *tractus opticus* wird im *thalamus*, genauer im *corpus geniculatum laterale* auf das vierte Neuron der Sehbahn umgeschaltet. Ein kleinerer Anteil von etwa 10 % der Axone gehört dem nicht genikulären Teil der Sehbahn an (Eysel, 2007, S. 401-402; Trepel, 2005, S. 224; Schünke et al., 2006, S. 361). Dieser wird nicht im *thalamus* verschaltet, sondern leitet visuelle Information an verschiedene Strukturen des Mittelhirns, Zwischenhirns und Hirnstamms weiter, u.a. an die *nuclei vestibulares*.

Der genikuläre Anteil der Sehbahn wird über die Gratiolet-Strahlung (*radiatio optica*) bis zur primären Sehrinde fortgesetzt (Eysel, 2007, S. 401; Trepel, 2005, S. 224). In der primären Sehrinde findet die erste Bewusstwerdung der sensorischen Information aus der Netzhaut statt. Sie ist retinotopisch organisiert (Eysel, 2007, S. 402), das bedeutet, dass jedem Ort auf der Netzhaut ein Bereich auf dem Kortex zugeordnet ist. Die Afferenzen von der *fovea centralis* nehmen den größten Anteil (ca. 80 %) der primären Sehrinde ein (Trepel, 2005, S. 226). Der größte Anteil der Efferenzen aus der primären Sehrinde verläuft zur sekundären Sehrinde, die für ein erstes Erkennen und Zuordnen und die Weiterleitung der visuellen Information an andere Kortexareale zuständig ist (Trepel, 2005, S. 227), in denen sie zum Identifizieren von Gegenständen und zur Kontrolle von Bewegungen genutzt werden können (Goodale & Milner, 1992).

2.2.3.1.2 Das vestibuläre System

Die Sinnesorgane des vestibulären Systems sind drei Bogengangsorgane (*ductus semiculares*) und zwei Maculaorgane (*macula sacculus* und *macula utriculus*), die sich beidseitig im Innenohr befinden (Zenner, 2007, S. 368-369; Schünke et al., 2006, S. 153; Trepel, 2005, S. 232-233). Rezeptoren der vestibulären Organe sind Haarzellen, die an ihrer apikalen Oberfläche ein Kinozilium und unterschiedlich lange, der Größe nach angeordnete Stereozilien haben (Zenner, 2007, S. 369-370; Schünke et al., 2006, S. 153; Trepel, 2005, S. 233). Bei Beschleunigungen des Kopfes verformen sich die Stereozilien aufgrund der Massenträgheit. Je nach Richtung der Ablenkung wird die Haarzelle depolarisiert (Ablenkung zum Kinozilium hin) oder hyperpolarisiert (Ablenkung vom Kinozilium weg). Dadurch kann die Information über Richtung und Ausmaß der Beschleunigung weitergeleitet werden (Zenner, 2007, S. 370-371).

Durch ihre unterschiedliche Form und die unterschiedliche Ausrichtung der Haarzellen reagieren die einzelnen Organe auf Beschleunigungen in unterschiedlichen Richtungen und Ebenen (Schünke et al., 2006, S. 153): die *macula utriculi* auf horizontale translatorische Beschleunigungen, die *macula saculi* auf vertikale translatorische Beschleunigungen. Die orthogonale Anordnung der Bogengangsorgane (*ampulla anterior*, *ampulla lateralis* und *ampulla posterior*) ermöglicht die Wahrnehmung von rotatorischen Beschleunigungen in drei Raumebenen.

Die elektrochemischen Signale der Haarzellen in den Vestibularorganen werden an die afferenten Nervenfasern des *nervus vestibularis* gesendet, dessen größter Anteil auf die *nuclei vestibulares* des Hirnstamms projiziert, ein kleinerer Anteil wird direkt ins Kleinhirn (*cerebellum*) weitergeleitet (Trepel, 2005, S. 65, S. 118). Zusätzliche Afferenzen bekommen die *nuclei vestibulares* aus demjenigen Teil des Kleinhirns, der den kleineren Anteil der vestibulären Information des *nervus vestibularis* erhält, sowie aus dem Rückenmark (Trepel, 2005, S. 118). Aus den *nuclei vestibulares* gibt es Efferenzen zum *thalamus*, zum Kleinhirn, zu den Augenmuskelnkernen und in das Rückenmark. So kann die vestibuläre Information genutzt werden, um den Blick durch vestibulo-okulare Reflexe zu stabilisieren, Haltungsreflexe auszulösen (Projektionen ins Rücken-

mark) und Willkürbewegungen anzupassen (Projektionen ins Kleinhirn). Die Projektionen zum *thalamus*, die zum sensiblen Großhirnkortex (*gyrus post-centralis*) weiterverschaltet werden, ermöglichen eine bewusste Raumorientierung durch Integration sensorischer Information aus verschiedenen Sinnessystemen.

2.2.3.1.3 Das somatosensorische System

Im peripheren Nervensystem befinden sich zahlreiche Rezeptoren, die für mechanische Reize, Temperatur oder Schmerz sensibel sind. Diese werden dem somatosensorischen System zugeordnet, das in zwei verschiedenen Bahnsystemen, das lemniskale System (Mechanorezeption) und das spinothalamischen System (Thermorezeption, Nozizeption, Viszerozeption) unterteilt ist (Treede, 2007, S. 297-298). Da das spinothalamische System für die Gleichgewichtsregulation eine untergeordnete Rolle spielt, wird an dieser Stelle ausschließlich die Mechanorezeption des lemniskalen Systems behandelt. Je nach Lokalisation des mechanischen Reizes spricht man von Exterozeption (Außenwahrnehmung) oder Propriozeption (Eigenwahrnehmung).

Das Sinnesorgan des exterozeptiven lemniskalen Systems ist die Haut. In ihr befinden sich vier Typen von Mechanorezeptoren, die sich anhand ihrer korpuskulären Nervenendigungen voneinander unterscheiden (Treede, 2007, S. 308). Aufgrund ihrer morphologischen Unterschiede adaptieren die Rezeptorentypen unterschiedlich schnell an mechanische Reize und haben unterschiedlich große rezeptive Felder (Treede, 2007, S. 308-309): Merkel-Zellen und Tastscheiben adaptieren langsam an vertikalen Druck auf der Haut und nehmen lediglich Reize wahr, die relativ nah an der Nervenendigung lokalisiert sind (Durchmesser ca. 3 mm). Ruffini-Körperchen adaptieren ebenfalls langsam, werden allerdings durch laterale Zugspannung der Haut gereizt und haben ein größeres rezeptives Feld (ca. 3 cm im Durchmesser). Meissner-Körperchen und Haarfollikel-Sensoren adaptieren schnell an sich verändernden Druck auf der Haut und haben kleine rezeptive Felder. Deswegen sind sie zur Wahrnehmung von Bewegung auf der Haut und Vibrationen bis zu 40 Hz besonders wichtig. Pacini-Körperchen adaptieren noch schneller und haben aufgrund ihrer Lage in

der Subcutis größere rezeptive Felder. Sie ermöglichen die Wahrnehmung hochfrequenter Vibrationen (Treede, 2007, S. 308-311).

Die Rezeptoren des propriozeptiven lemniskalen Systems sind in Muskeln, Sehnen und Gelenkkapseln lokalisiert. Sie werden anhand ihrer Lage und Morphologie in vier verschiedene Rezeptortypen klassifiziert (Treede, 2007, S. 312).

Muskelspindeln sind parallel zur Arbeitsmuskulatur angeordnete Sinnesorgane, die eine Längenzunahme des Muskels wahrnehmen können. Sie bestehen aus Muskelfasern, die kürzer und dünner sind als die Muskelfasern der Arbeitsmuskulatur und von einer Kapsel umgeben sind (intrafusale Muskelfasern; Lehmann-Horn, 2007, S. 146). Die intrafusalen Muskelfasern sind in ihrem mittleren Anteil von einer annulospinalen Nervenendigung (primär sensible Endigung) einer markhaltigen Nervenfasern (Ia-Faser) umschlungen. Bei einer Längenzunahme des mittleren Anteils der Muskelspindel wird die primär sensible Endigung gereizt. Durch die parallele Anordnung zur Arbeitsmuskulatur kann so eine Längenzunahme des Muskels schnell wahrgenommen werden (Treede, 2007, S. 312-313). In vielen Muskelspindeln kommt ein weiterer Rezeptortyp vor (sekundär sensible Endigungen mit Gruppe-II-Fasern). Sie sind den primären sensiblen Endigungen ähnlich. Allerdings teilen sich Gruppe-II-Fasern, im Gegensatz zu Ia-Fasern, häufig in mehrere Endigungen an verschiedenen intrafusalen Muskelfasern auf. Die sekundär sensiblen Endigungen reagieren langsamer auf Längenzunahmen der Muskulatur. Die intrafusalen Muskeln können durch γ -Motoneurone innerviert werden (Lehmann-Horn, 2007, S. 147). Dadurch kann die Sensibilität der Muskelspindeln verändert werden (Lehmann-Horn, 2007, S. 147-149) und durch α - γ -Koaktivierung an die Länge der extrafusalen Muskulatur angepasst werden (Lehmann-Horn, 2007, S. 150-151).

Einen weiteren Rezeptortyp, das Golgi-Sehnenorgan findet man in den Sehnen der Arbeitsmuskulatur (Lehmann-Horn, 2007, S. 148; Treede, 2007, S. 312-313). Es besteht aus marklosen Nervenendigungen, die die kollagenen Fasern der Sehne umgeben und sich zu wenigen Ib-Fasern vereinigen (Lehmann-Horn, 2007, S. 148). Sie werden durch eine Dehnung der kollagenen Fasern gereizt. Da sie in Serie zur Arbeitsmuskulatur angeordnet sind, reagieren sie sowohl auf

eine Dehnung als auch auf eine Kontraktion des Muskels. Sie messen demnach die Muskelspannung (Lehmann-Horn, 2007, S. 148-149).

Der Rezeptoren des vierten Typs des propriozeptiven lemniskalen Systems (Ruffini-Körperchen der Gelenkkapseln) leisten lediglich einen geringen Beitrag zur Wahrnehmung der Gelenkposition (Treede, 2007, S. 313).

Die Reize, die in den verschiedenen Rezeptoren des somatosensorischen Systems wahrgenommen werden, werden über afferente Rückenmarksbahnen ins Kleinhirn und ins Großhirn weitergeleitet. Zum Wurmanteil des *spinocerebellums* verlaufen der *tractus spinocerebellaris anterior* und *tractus spinocerebellaris posterior* (Schünke et al., 2006, S. 326-327). Über sie wird die Information aus den Muskelspindeln, Golgi-Sehnenrezeptoren, Gelenkrezeptoren und den verschiedenen Hautrezeptoren übermittelt. Druck- und Berührungsreize, die durch verschiedene Hautsensoren wahrgenommen werden, werden durch den *tractus spinothalamicus anterior* zum *nucleus ventralis posterolateralis* des *thalamus* weitergeleitet. Dort erfolgt die Umschaltung auf das dritte Neuron, das zum sensorischen Kortex führt (Schünke et al., 2006, S. 326-327). In den Hinterstrangbahnen (*fasciculus gracilis*, *fasciculus cuneatus*) werden Tast- und Berührungsempfindungen aus Hautrezeptoren sowie Reize aus den propriozeptiven Sensoren (Muskelspindeln, Golgi-Sehnenorgane) zum *nucleus ventralis posterolateralis* des *thalamus* geleitet und dort ebenfalls auf das dritte Neuron umgeschaltet, das die Information zum sensorischen Kortex weiterleitet (Schünke et al., 2006, S. 326-327).

Die beschriebenen Teilsysteme des somatosensorischen Systems bilden den afferenten Teil der spinalen Reflexmotorik (Kap. 2.2.3.2).

2.2.3.2 Motorische Systeme

Die Effektoren zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichts sind die quergestreiften Muskeln der Arbeitsmuskulatur. Dadurch dass Aktin- und Myosinfilamente in einem Sarkomer aneinander entlang gleiten (Huxley, 1969), kann sich die Länge des Sarkomers verkürzen. Viele in Reihe geschaltete, verkürzte Sarkomere führen dazu, dass die gesamte Myofibrille verkürzt, was wiederum zu einer Längenreduktion der Muskelfaser führt. Eine große Anzahl verkürzter Mus-

kelfasern führt zu einer Reduktion des Abstands zwischen Muskelansatz und Muskelursprung. Durch die Kontraktion produziert der Muskel Drehmomente an den Gelenken, die er überzieht. So kann durch Muskelkontraktion die Lage von Teilkörper-Massenschwerpunkten und damit auch die Lage des KSPs verändert werden. Darüber hinaus können Muskelkontraktionen dazu beitragen das Gleichgewicht aufrecht zu halten, indem die Unterstützungsfläche vergrößert wird, z.B. durch einen Ausfallschritt (Kap. 2.2.4.1). Bei einer gelungenen Regulation des Gleichgewichts wird die Lage des KSPs durch Muskelkontraktionen so beeinflusst, dass seine Projektion weiterhin im Bereich der Unterstützungsfläche liegt (Kap. 2.2.2). Die funktionalen Einheiten der Arbeitsmuskulatur, die motorischen Einheiten, werden über die Axone der Motoneurone im Rückenmark innerviert. Diese können wiederum durch Einflüsse verschiedener Ebenen des zentralen Nervensystems innerviert oder gehemmt werden.

Auf der niedrigsten Ebene kann über spinale Reflexe ein Einfluss auf die Muskelkontraktion ausgeübt werden. Spinale Reflexe sind genetisch bestimmte, zweckmäßige Reaktionen auf bestimmte Reize, die zur Einstellung und Stabilisierung von Muskelkraft und Muskellänge dienen (Lehmann-Horn, 2007, S. 146). Ein Reflexbogen besteht immer aus den fünf Abschnitten Rezeptoren, afferenter Schenkel, Reflexzentrum, efferenter Schenkel und Effektor. Rezeptoren spinaler Reflexe können nur Rezeptoren des somatosensorischen Systems sein, weil visuelle und vestibuläre Information nicht ohne supraspinale Verarbeitung Einfluss auf die Muskelkontraktion nehmen kann. Die Latenzzeit der spinalen Reflexe ist abhängig von der Nervenleitgeschwindigkeit (Fasertyp des afferenten und efferenten Schenkels) und der Leitungstrecke im afferenten und efferenten Schenkel sowie der Verarbeitung im Reflexzentrum (involvierte Synapsen und Zahl der Interneurone).

Der einfachste spinale Reflex ist der monosynaptische Dehnungsreflex, der der Aufrechterhaltung der Muskellänge dient. Sein Reflexbogen setzt sich aus den primär sensiblen Endigungen an den Muskelspindeln, den schnell leitenden afferenten Ia-Fasern, den Synapsen zwischen den Ia-Fasern und den α -Motoneuronen sowie den großen motorischen Einheiten des gedehnten Muskels (α -Motoneurone und die von ihnen versorgten Muskelfasern) zusammen

(Lehmann-Horn, 2007, S. 149-150). Neben dem erregenden Einfluss auf α -Motoneurone des gleichen Muskels üben die Afferenzen der primär sensiblen Fasern der Muskelspindeln über Interneurone auch einen hemmenden Einfluss auf die α -Motoneurone des Antagonisten aus. Dieser Reflexbogen wird reziproke antagonistische Hemmung genannt und wirkt einer weiteren Dehnung des Agonisten durch Kontraktion des Antagonisten entgegen. Die Renshaw-Hemmung begrenzt das Ausmaß des Dehnungsreflexes und der reziproken Hemmung (Lehmann-Horn, 2007, S. 157-158). Außerdem werden die α -Motoneurone durch die autogene Hemmung, die durch die Afferenzen der Golgi-Sehnenorgane ausgelöst wird, an einer zu starken Innervation gehindert (Lehmann-Horn, 2007, S. 156-157).

Auf Rückenmarks-Ebene existieren noch zahlreiche weitere Reflexbögen, in denen die verschiedenen Rezeptoren des somatosensorischen Systems, über deren afferente Fasern und unterschiedlich umfangreiche Verschaltung im Rückenmark, erregende oder hemmende Einflüsse auf Motoneurone der Arbeitsmuskulatur ausüben. Hierzu gehören der tonische Dehnungsreflex, an dem die sekundär sensiblen Endigungen der Muskelspindeln beteiligt sind und die Erregung synergistischer Haltemuskulatur, die ebenfalls durch Afferenzen der Muskelspindeln ausgelöst werden (Lehmann-Horn, 2007, S. 150). Weitere Fremdreflexe auf spinaler Ebene sind der Flexorreflex (Lehmann-Horn, 2007, S. 154), der durch Nozizeption, Mechanorezeption und sekundäre Muskelspindelafferenzen ausgelöst werden kann und mit einer Hemmung der ipsilateralen Extensoren einhergeht. Bei starker Reizung können hemmende Einflüsse auf die kontralateralen Flexoren und erregende Einflüsse auf die Extensoren der Gegenseite ausgeübt werden (Lehmann-Horn, 2007, S. 154). Supraspinale motorische Zentren üben über inhibitorische und exzitatorische deszendierende Bahnen einen starken Einfluss auf die spinale Reflexmotorik aus und können so insbesondere das Ausmaß der muskulären Reflexantwort modulieren (Lehmann-Horn, 2007, S. 151, S. 156).

Die von den motorischen Zentren des Hirnstamms ausgelösten Haltere reflexe haben einen großen Anteil an der Regulation des motorischen Gleichgewichts (Lehmann-Horn, 2007, S. 160-162). Die Strukturen des Hirnstamms, deren Ef-

ferenzen die Innervation der Arbeitsmuskulatur direkt beeinflussen und selbst wiederum unter dem Einfluss höherer motorischer Zentren stehen, sind die *formatio reticularis* (laterale und mediale motorische Kerngebiete), der *nucleus ruber* und die *nuclei vestibulares*. Afferenzen erhalten die motorischen Zentren des Hirnstamms über die kortikospinale Bahn, aus dem Kleinhirn (s.u.), dem somatosensorischen System, dem vestibulären System und dem visuellen System. Efferent üben sie über absteigende Bahnen erregende und hemmende Einflüsse auf Extensoren und Flexoren der Haltemuskulatur aus. Über die vestibulospinale Bahn und die mediale retikospinale Bahn werden α -Motoneurone der Extensoren erregt und α -Motoneurone der Flexoren gehemmt. Die Efferenzen der rubrospinalen Bahn und der lateralen retikospinalen Bahn haben einen gegenteiligen Einfluss auf Extensoren und Flexoren (Lehmann-Horn, 2007, S. 160-161).

Das Kleinhirn lässt sich in drei Strukturen unterteilen, die unterschiedliche Funktionen bei der Regulation des Gleichgewichts übernehmen: das vestibulocerebellum, das spinocerebellum und das pontocerebellum. Das spinocerebellum hat eine bedeutsame Funktion für die Koordination von Ziel- und Stützmotorik, das pontocerebellum für die Zielmotorik bei schnellen Bewegungen (Lehmann-Horn, 2007, S. 163). Für die Aufrechterhaltung des motorischen Gleichgewichts ist das vestibulocerebellum aber besonders wichtig. Es erhält Afferenzen aus dem visuellen, dem vestibulären und dem somatosensorischen System. Dadurch kann im vestibulocerebellum Information aus den verschiedenen sensorischen Systemen integriert werden. Durch die Projektionen auf die Kerne des Hirnstamms (*nuclei vestibulares*, *formatio reticularis*) kann direkt Einfluss auf die Haltungsreflexe des Hirnstamms ausgeübt werden. Das vestibulocerebellum spielt deshalb eine bedeutende Rolle, sowohl bei der Reaktion auf Störungen des Gleichgewichts durch äußere Kräfte (reaktive posturale Synergien, vgl. Kap. 2.2.4.1), als auch für die Kompensation von KSP-Verlagerungen, die durch willkürliche Bewegungen (z.B. auf die Zehenspitzen stellen; Nardone & Schieppati, 1988) bedingt sind (antizipatorische posturale Synergien, vgl. Kap. 2.2.4.2).

2.2.4 Posturale Synergien

Eine Korrektur der vertikalen Projektion des KSPs kann auf vielfältige Art und Weise erreicht werden. Im aufrechten Stand ist eine Verlagerung in posterior-Richtung sowohl über eine Plantarflexion in den Sprunggelenken, als auch durch eine Extension in den Hüftgelenken möglich. Das für die jeweilige Gelenkbewegung nötige Netto-Drehmoment kann über unterschiedliche Kombinationen von beugenden und streckenden Drehmomenten gebildet werden. Diese können wiederum durch verschiedene Kombinationen synergistischer Muskeln produziert werden, die jeweils aus zahlreichen motorischen Einheiten bestehen, welche unterschiedlich stark an der Kontraktion des Muskels beteiligt sein können (vgl. Turvey, 1990, S. 938-939). Trotz dieser unendlich vielen Möglichkeiten ein Bewegungsziel zu erreichen, muss eine motorische Lösung gewählt werden. Dieses Problem wird mit Bezug auf Bernstein (1967) das *Problem der Freiheitsgrade* genannt. Bernstein (1967) vermutete eine funktionelle Kopplung von Muskelgruppen, die zusammen als so genannte *Synergie* arbeiten und so das *Problem der Freiheitsgrade* drastisch reduzieren. Funktionale Kopplungen von Muskelgruppen, die das motorische Gleichgewicht kontrollieren, werden posturale Synergien genannt (Gelfand, Gurfinkel, Tsetlin & Shik, 1971; Nashner & Woollacott, 1979). Die wichtigste Methode zur Untersuchung von posturalen Synergien besteht darin, das motorische Gleichgewicht einer VPn zu stören (z.B. durch mechanische Auslenkung einer Standplattform; Diener, Dichgans, Bootz & Bacher, 1984; Nashner, 1977) und die muskuläre Aktivität von Versuchspersonen während dieser Störung elektromyographisch zu erfassen. In diesen Experimenten zeigen sich, trotz der vielfältigen Lösungsmöglichkeiten, wiederkehrende Muster der Muskelaktivierung (Kap. 2.2.4.1; Kap. 2.2.4.2). Es wird angenommen, dass diese *posturalen Synergien* konkrete Lösungen einer Strategie sind, mit der die für die Bewältigung der jeweiligen Aufgabe entscheidenden Parameter kontrolliert werden. Neben der Relation von Projektion des KSPs zur Unterstützungsfläche (vgl. Kap. 2.2.2) sind je nach Aufgabe zahlreiche weitere Kontrollparameter denkbar (vgl. Abb. 8).

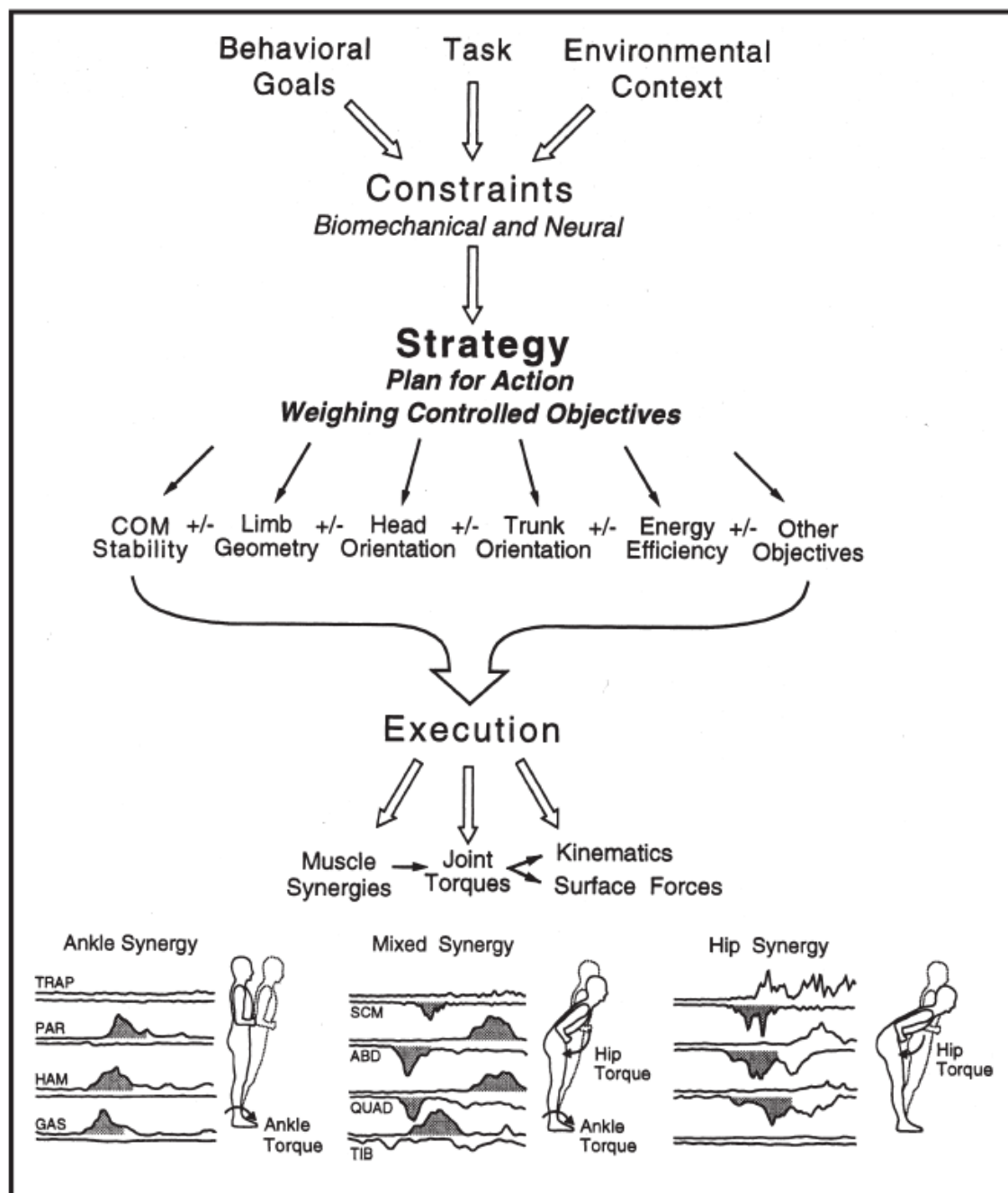


Abb. 8

Ein Rahmenkonzept zur Entstehung von posturalen Strategien und posturalen Synergien (Horak, Henry & Shumway-Cook, 1997). Zu beachten ist, dass nach der Definition von *Aufgabe* in dieser Arbeit (vgl. Kap. 2.1.2), die Begriffe *Task* und *Environmental Context* gemeinsam als *Aufgabe* verstanden werden. *Behavioral Goals* können auch von der *Aufgabe* beeinflusst sein, können sich aber intra- und interindividuell unterscheiden.

2.2.4.1 Reaktive posturale Synergien

In diesem Abschnitt werden Experimente vorgestellt, in denen die muskulären Reaktionen auf mechanische Störungen des motorischen Gleichgewichts untersucht worden sind. In diesen Studien wurden Plattformen eingesetzt, deren Standfläche hydraulisch bewegt werden konnte (Abb. 9). Untersucht wurden horizontale Translationen v.a. in anterior- oder posterior-Richtung, vertikale Translationen und Rotationen der Standfläche (Woollacott, Shumway-Cook & Nashner, 1986), auch mit unterschiedlichem Abstand zur Sprunggelenksachse (Gollhofer, Horstmann, Berger & Dietz, 1989). In ihnen wurden unterschiedliche, für die jeweilige Störung spezifische, muskuläre Aktivitätsmuster gefunden.

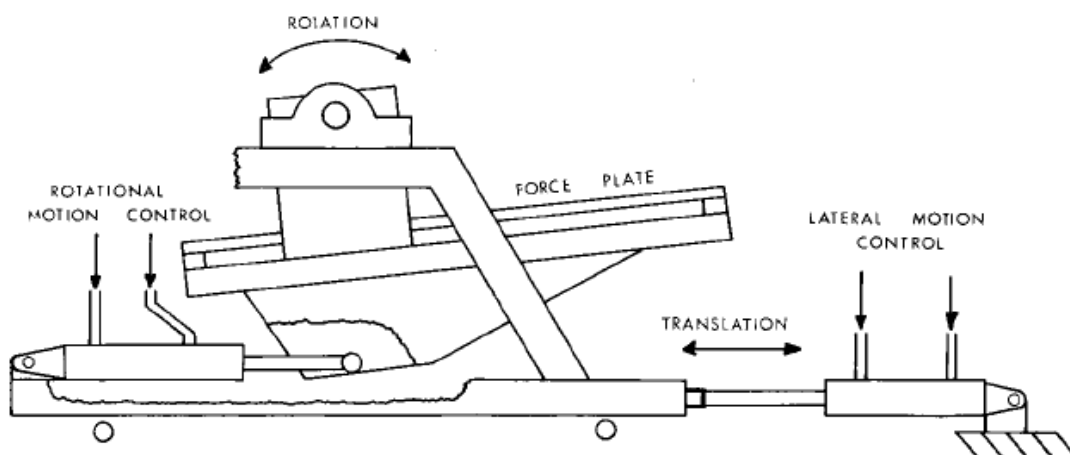


Abb. 9 Skizze einer in zwei Freiheitsgraden beweglichen Standplattform (Nashner, 1971), die in den Experimenten von Nashner (1976, 1977) eingesetzt wurde.

Bei horizontalen Auslenkungen der Standplattform in anterior-Richtung werden für die meisten gesunden VPn muskuläre Aktivitätsmuster gefunden, die dadurch gekennzeichnet sind, dass die Muskeln der Körper-Vorderseite innerviert werden (*tibialis anterior*: Asaka et al., 2011; Horak & Nashner, 1986; Macpherson et al., 1989; Nashner, 1976, 1977; *rectus femoris*: Asaka et al., 2011; Horak & Nashner, 1986; Macpherson et al., 1989; Nashner, 1977; *vastus lateralis*: Asaka et al., 2011; *rectus abdominis*: Horak & Nashner, 1986; Nashner, 1977). Dabei beginnt die muskuläre Aktivität im *tibialis anterior* und wird anschließend von distal nach proximal fortgesetzt (vgl. Abb. 10).

Auf horizontale Auslenkungen der Standplattform in posterior-Richtung reagieren die meisten gesunden VPn dagegen mit Aktivitätsmustern, die durch Innervation der Muskeln der Körperrückseite gekennzeichnet sind (*gastrocnemius medialis*: Asaka et al., 2011; Horak & Nashner, 1986; Macpherson et al., 1989; Nashner, 1976, 1977; *gastrocnemius lateralis*: Asaka et al., 2011; *soleus*: Asaka et al., 2011; *biceps femoris*: Horak & Nashner, 1986; Nashner, 1977; *semitendinosus*: Asaka et al., 2011; Macpherson et al., 1989; *erector spinae*: Asaka et al., 2011; Horak & Nashner, 1986). Auch bei diesen Auslenkungen beginnt die Aktivierung in der Muskulatur, die über das Sprunggelenk zieht, und wird nach proximal fortgesetzt (vgl. Abb. 10). Diese muskulären Reaktionen führen zu einem Drehmoment am Sprunggelenk, das der Störung entgegengesetzt ist und so einer Verlagerung des KSPs nach außerhalb der Unterstützungsfläche entgegenwirkt. Deshalb werden diese Reaktionen auf horizontale Auslenkungen der Standfläche in anterior-posterior-Richtung *Sprunggelenkssynergie* genannt (Horak et al., 1997; Horak & Nashner, 1986; Nashner & McCollum, 1985; Woollacott & Jensen, 1994).

Bei veränderter Aufgabenstellung oder beeinträchtigten VPn ist allerdings ein anderes Aktivierungsmuster zu beobachten. Auf stärkere Auslenkungen durch größere Amplituden (Diener, Horak & Nashner, 1988; Park, Horak & Kuo, 2004) oder veränderte Auslenkungsgeschwindigkeiten (Diener et al., 1988) reagieren die meisten VPn mit einem Aktivierungsmuster, das durch eine Kontraktion von proximal nach distal, ohne starke Aktivität in der das Sprunggelenk überziehenden Muskulatur, gekennzeichnet ist. Da es bei diesem Aktivierungsmuster zu einer großen Bewegungsamplitude im Hüftgelenk kommt, wird es *Hüftsynergie* genannt (Horak et al., 1997; Horak & Nashner, 1986; Nashner & McCollum, 1985; Woollacott & Jensen, 1994). Die *Hüftsynergie* führt im Gegensatz zur *Sprunggelenkssynergie* kaum zu einem Drehmoment im Sprunggelenk, sondern zu einer Scherkraft gegen die Unterstützungsfläche, die der Störung entgegenwirkt. Dadurch wird im Gegensatz zur *Sprunggelenkssynergie* eine nicht aufrechte Haltung nach der Störung eingenommen. Auch wenn aufgrund vorheriger Perturbationen größere Auslenkungen erwartet wurden (Horak, Diener & Nashner, 1989), auf einer verkürzten Standfläche (Asaka et al. 2011; Horak &

Nashner, 1986; vgl. Abb. 10), einer in die Richtung der Störung gelehnten Ausgangsposition (Horak & Moore, 1993) oder bei Patienten mit sensorischen Einschränkungen (Horak, Nashner & Diener, 1990), findet man die *Hüftsynergie* als Antwort auf horizontale Störungen in anterior-posterior-Richtung.

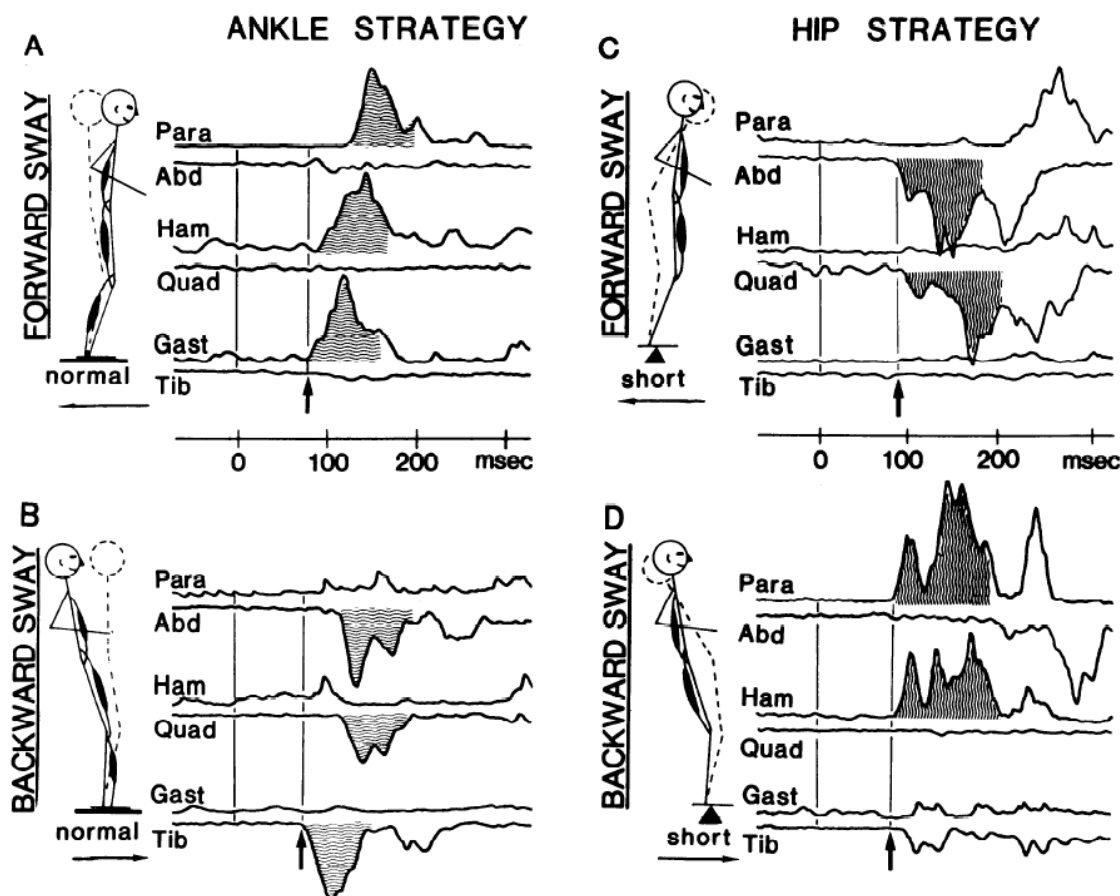


Abb. 10 Muskuläre Aktivitätsmuster auf posterior- (A, C) und anterior- (B, D) Auslenkungen der Standfläche (Horak & Nashner, 1986, S. 1372). A, B: normaler Untergrund; C, D: verkürzte Unterstützungsfläche (Balkenlänge: 9 cm). Para: *erector spinae*, Abd: *rectus abdominis*, Ham: *biceps femoris*, Quad: *rectus femoris*, Gast: *gastrocnemius medialis*, Tib: *tibialis anterior*).

Nashner und McCollum (1985) entwickelten ein biomechanisches und neuronales Schema der Organisation von Haltungsreaktionen auf Störungen in der Sagittalebene. Sie modellierten Gliedmaßen als starre Körper und Muskeln als Kraftvektoren. Zusätzlich gingen sie davon aus, dass möglichst wenige Muskeln an der Gleichgewichtskontrolle beteiligt sein sollten und dass bei häufig wiederholten Bewegungen möglichst wenige neurale Entscheidungen getroffen werden müssten. Ihr Schema erklärt, wie mit einer begrenzten Anzahl von muskulären Kontraktionsmustern verschiedene Störungen in der Sagittalebene be-

antwortet werden könnten. Die vorhergesagten Kontraktionsmuster entsprechen der *Sprunggelenks-* und der *Hüftsynergie* sowie der *suspensorischen Synergie* (s.u.). Nach Nashner und McCollum (1985) wird aufgrund sensorischer Information die Störung des Gleichgewichts eingeschätzt und eine geeignete muskuläre Antwort aus einer begrenzten Auswahl von Kombinationen der Basis-Synergien (*Sprunggelenks-*, *Hüft-* und *suspensorische Synergie*) ausgewählt. Horak & Nashner (1986, S. 1379) vermuteten, dass es neben *Sprunggelenks-* und *Hüftsynergie* eine weitere Möglichkeit gibt auf mechanische Störungen in anterior-posterior zu reagieren, eine *Schritt-Synergie*. Tatsächlich werden ausgleichende Schritte insbesondere als Antwort auf starke und unbekannte Auslenkungen der Standfläche beobachtet (Horak, 1987; Horak, Henry & Shumway-Cook, 1997; McIlroy & Maki, 1993, 1995). Die *Schritt-Synergie* ist durch eine frühe Kontraktion von Hüftabduktoren und Co-kontraktion der das Sprunggelenk übergreifenden Muskulatur gekennzeichnet (Horak et al., 1997; McIlroy & Maki, 1993, 1995). Diese muskuläre Reaktion entlastet ein Bein und setzt es in die der Auslenkung entgegengesetzte Richtung. Dadurch wird nicht, wie bei der *Sprunggelenks-* und der *Hüftsynergie*, die Position des KSPs beeinflusst, sondern die Unterstützungsfläche unter den fallenden KSP verschoben (Horak, 1987; Horak & Nashner, 1986).

In den meisten Experimenten zu reaktiven posturalen Synergien wurde das Gleichgewicht der VPn durch horizontale Auslenkungen der Standfläche in anterior-posterior Richtung (s.o.) gestört. Moore, Rushmer, Windus und Nashner (1988) waren die ersten, die muskuläre Reaktionen auf Störungen in 24 verschiedenen Richtungen (jeweils 15° Unterschied) untersuchten. Sie fanden kontinuierliche Veränderungen der Latenzzeiten (nur für proximale Muskeln) und der EMG-Amplitude. Für Auslenkungen nahe der anterior-posterior-Richtung fanden sie Aktivierungsmuster, die mit denen von Horak & Nashner (1986) beobachteten große Übereinstimmungen haben. Unterschiede erklären die Autoren mit den größeren Auslenkungsgeschwindigkeiten ihres Experiments. Bei seitlichen Auslenkungen unterscheiden sich die EMG-Muster deutlich von denen in anterior-posterior, was darauf hinweist, dass andere Synergien genutzt werden, um seitliche Störungen auszugleichen. Allerdings wurden in diesem

Experiment vorrangig Muskeln untersucht, die an posturalen Synergien zur Reaktion auf Störungen in anterior-posterior-Richtung eingesetzt werden. Es wurden lediglich zwei Muskeln untersucht, die an Hüftabduktion und Hüftadduktion beteiligt sind. Deshalb kann aus dieser Untersuchung noch keine laterale Synergie abgeleitet werden (Moore et al., 1988, S. 657).

Auch Henry, Fung und Horak untersuchten Reaktionen auf horizontale Auslenkungen der Standfläche (1998a, 4 Richtungen, 1998b, 12 Richtungen). Ein weiterer Unterschied zu dem Experiment von Moore et al. (1988) besteht darin, dass bei ihnen die Standplattform in alle Richtungen beweglich war und so die VPn den unterschiedlichen Auslenkungen aus der gleichen Ausgangsposition ausgesetzt werden konnten. Dadurch wurde verhindert, dass die VPn die Auslenkungsrichtung antizipieren konnten. Henry, Fung und Horak (1998a, 1998b) finden für die meisten untersuchten Muskeln (*tibialis anterior*, *peroneus longus*, *gastrocnemius medialis*, *soleus*, *vastus medialis*, *rectus femoris*, *adductor longus*, *semimembranosus*) Latenzzeiten, die unabhängig von der Auslenkungsrichtung sind. Dagegen unterscheiden sich die Latenzzeiten für *tensor fascia latae*, *rectus abdominis* und *erector spinae* je nach Auslenkungsrichtung. Die EMG-Amplitude unterscheidet sich im Gegensatz zur Latenzzeit bei allen untersuchten Muskeln in Abhängigkeit von der Auslenkungsrichtung (vgl. Abb. 11). Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass aufgabenabhängig (bzw. richtungsabhängig) in höheren Ebenen des zentralen Nervensystems posturale Synergien ausgewählt und auf niedrigeren Ebenen modifiziert werden (Henry et al., 1998b, S. 1939). Hinter den unterschiedlichen posturalen Synergien vermuten die Autoren die gleiche Strategie, die aufgrund biomechanischer Voraussetzungen zu unterschiedlichen Aktivierungsmustern der Muskulatur führt (Henry et al., 1998a, S. 38). Dieser Annahme widersprechen Winter, Prince, Frank, Powell und Zabjek (1996), die aufgrund von dynamometrischen und kinematischen Daten unterschiedliche Strategien (anterior-posterior: *Sprunggelenks-Strategie*, medial-lateral: *Hüft-Strategie*) für die Gleichgewichtskontrolle im aufrechten Stand vermuten. Diese Unterschiede könnten durch die unterschiedlichen Störungen in den Experimenten erklärt werden (Henry et al., 1998a, 1998b: Auslen-

kung der Standfläche; Winter et al., 1996: keine mechanische Störung von außen).

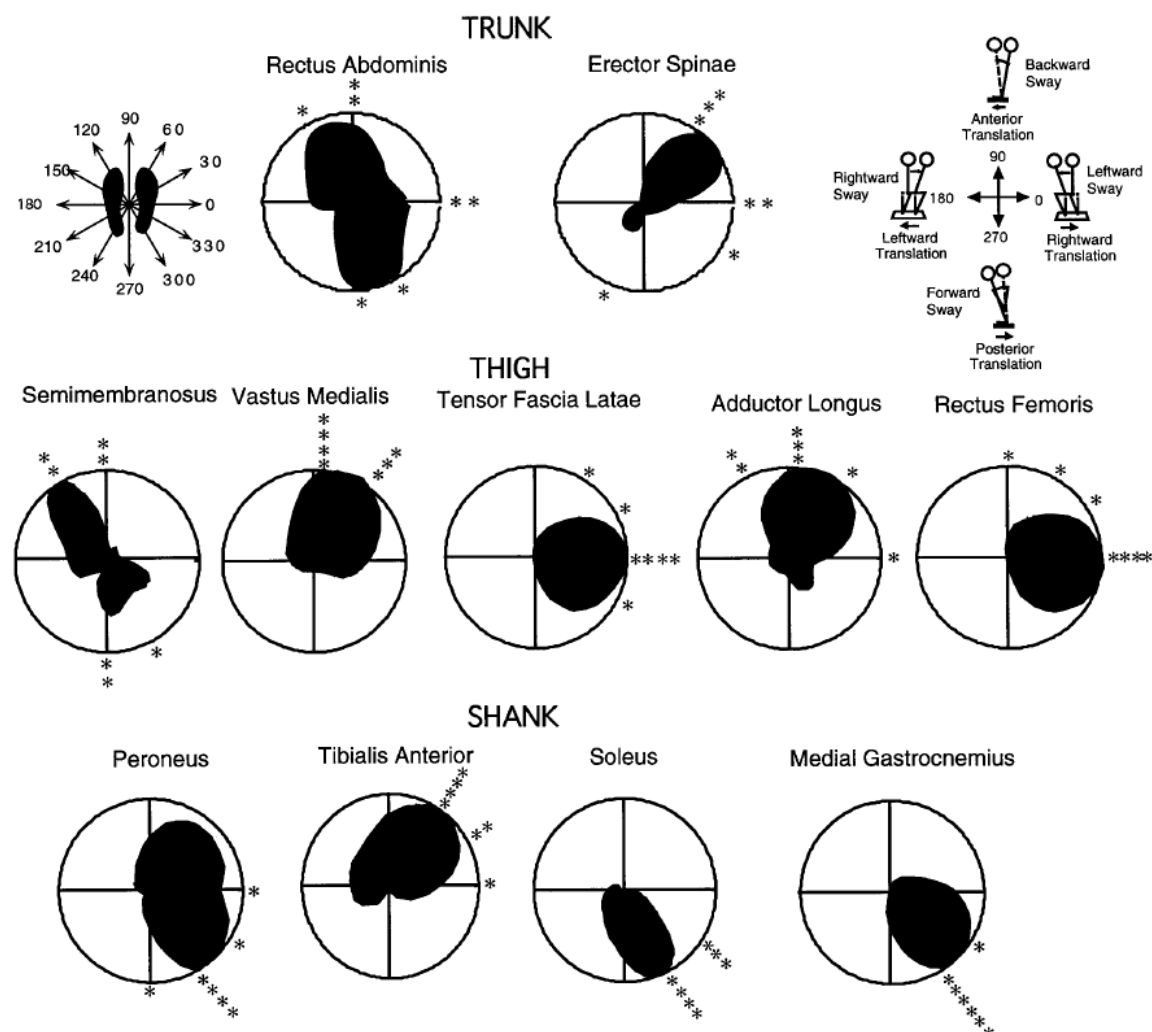


Abb. 11 Beispiele für relative EMG-Amplituden der linksseitig untersuchten Muskeln (Henry et al. 1998b) in Abhängigkeit von der Auslenkungsrichtung. Die einzelnen Darstellungen stammen von verschiedenen VPn. Jeder Stern steht für eine VPn, die in dieser Richtung die größte muskuläre Aktivität gezeigt hat.

Neben Störungen durch translatorische Auslenkungen der Standfläche sind in Experimenten zu reaktiven posturalen Synergien auch Rotationen der Standfläche eingesetzt worden (vgl. Abb. 9). Beispielsweise werden rotatorische Auslenkungen, die zu Dorsiflexion in den Sprunggelenken führen, durch stärkere Kontraktionen von Muskeln beantwortet, die die Dorsiflexion weiter verstärken (z.B. *tibialis anterior*; Diener et al., 1984; Hansen et al., 1988; Keshner et al., 1987; Nashner, 1976, 1977). Obwohl der *gastrocnemius* durch die Rotation der Standfläche gedehnt wird, ist er höchstens mit einer relativ schwachen Aktivie-

rung mit kurzer Latenzzeit an der Antwort auf die Störung beteiligt. Aus biomechanischer Sicht ist diese Reaktion sinnvoll, da durch die Kontraktion des *tibialis anterior* verhindert wird, dass sich die Projektion des KSPs weiter nach hinten verlagert. Diese Reaktion auf eine Störung scheint demnach nicht nur auf einem Dehnungsreflex zu beruhen, sondern auch von höheren Ebenen des zentralen Nervensystems beeinflusst zu sein (Nashner, 1976, 1977). Unterstützt wird diese Annahme dadurch, dass bei einer Translation in posterior-Richtung, die zur Dorsiflexion der Sprunggelenke führen würde, und gleichzeitiger entgegengesetzter Rotation der Standfläche posturale Synergien ausgelöst werden, obwohl sich der Sprunggelenkwinkel nicht verändert (Nashner, 1976, 1977).

In den o.g. Experimenten zu Rotationen der Standfläche wurde der Abstand zwischen Standfläche und Rotationsachse so eingestellt, dass die Rotationsachsen der Plattform und der Sprunggelenke identisch waren (vgl. Abb. 9). Gollhofer et al. (1989) variierten den Abstand zwischen Sprunggelenksachse und Rotationsachse in 6 Stufen von 0 cm bis 25 cm (vgl. Abb. 12). Durch diesen Abstand führt eine Rotation der Standfläche sowohl zu einer Rotation der Sprunggelenke als auch zu einer Translation: je größer der Abstand, desto größer die translatorische Komponente. Bei übereinstimmenden Rotationsachsen finden sie für *tibialis anterior* und *gastrocnemius* zu den oben beschriebenen Experimenten vergleichbare Aktivierungsmuster: eine schwache Aktivierung des *gastrocnemius* mit kurzer Latenzzeit (35 ± 2 ms), gefolgt von einer stärkeren Aktivierung des *tibialis anterior* (104 ± 12 ms). Mit zunehmendem Abstand zwischen der Rotationsachse der Standplattform und der Sprunggelenksachse verändert sich das Aktivierungsmuster zu einer verzögerten, stärkeren Aktivierung des *gastrocnemius* (72 ± 8 ms) und einer geringeren Amplitude des *tibialis anterior* mit unveränderter Latenzzeit (Abb. 12). Die unterschiedlichen Synergien, die bei diesen Aufgaben eingesetzt werden, ermöglichen es die vertikale Projektion des KSPs innerhalb der Unterstützungsfläche zu halten (Gollhofer et al., 1989, S. 77). Die Dorsiflexion des Sprunggelenks kann durch eine Kontraktion des *tibialis anterior* beantwortet werden, eine translatorische Auslenkung

der Standplattform in posterior-Richtung macht eine Kontraktion des *gastrocnemius* nötig (vgl. Nashner, 1976).

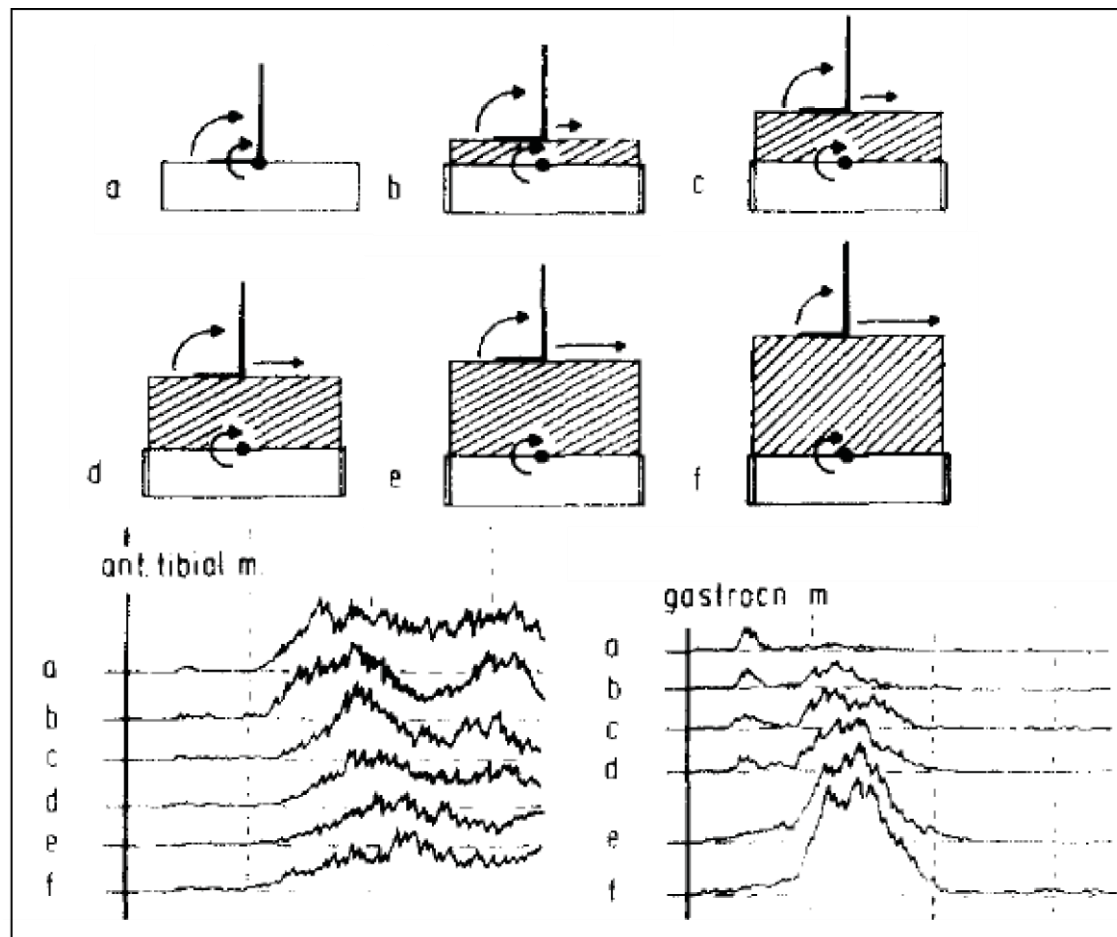


Abb. 12 Über 8 VPn gemittelte EMG-Antworten des *tibialis anterior* und des *gastrocnemius* auf dorsiflexierende Rotationen der Standfläche mit unterschiedlichem Abstand zwischen Rotationsachse der Standplattform und Sprunggelenksachse (Gollhofer et al., 1989). a: 0 cm, b-f: 5 cm, 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm.

Weiterhin wurden vertikale translatorische Auslenkungen von Standplattformen untersucht (Nashner, Woollacott & Tuma, 1979). Auch hierbei wurden für die jeweilige Störung spezifische posturale Synergien gefunden. Bei gleichzeitiger nach oben gerichteter Bewegung der Standplattformen unter beiden Füßen reagierten VPn mit Kontraktionen der Muskeln, die der Plattformbewegung entgegenwirken (*gastrocnemius*, *quadriceps femoris*). Bewegt sich die Standplattform unter einem Fuß nach oben und unter dem anderen Fuß nach unten, wird mit einem anderen Aktivierungsmuster geantwortet. Es wird der Plattformbewegung nicht entgegengewirkt, sondern es werden die Flexoren auf der nach oben bewegten Seite und die Extensoren auf der nach unten gerichteten Seite aktiviert.

Durch diese posturale Synergie wird verhindert, dass das Gleichgewicht in seitlicher Richtung zu stark gestört wird (Nashner et al, 1979, S. 473).

Neben der Art und Richtung der mechanischen Störung des Gleichgewichts hat auch die Ausgangsposition der Versuchspersonen einen Einfluss auf das EMG-Muster der posturalen Reaktion. Henry, Fung & Horak verglichen die muskulären Aktivierungsmuster bei horizontalen Auslenkungen der Standfläche in 12 verschiedene Richtungen (vgl. Henry et al., 1998b), einmal mit 10 cm und ein anderes Mal mit 32 cm Abstand zwischen den Füßen. Dabei konnten sie keine Unterschiede in den Latenzzeiten der untersuchten Muskeln feststellen. Die Amplituden waren allerdings im 10 cm weiten Stand deutlich erhöht. Es scheinen in diesem Experiment die gleichen posturalen Synergien bei beiden Standweiten eingesetzt worden zu sein. Lehnen sich VPn vor Auslenkung der Standplattform in die Richtung der Störung, nutzen sie eher die *Hüftsnynergie* als im geraden, aufrechten Stand (Horak & Moore, 1993). Auch bei Rotationen der Standplattform verändert sich das muskuläre Aktivierungsmuster durch eine vor- oder zurückgelehnte Position vor der Störung (Diener, Bootz, Dichgans & Bruzek, 1983). Beim quadrupedalen Stehen reagieren VPn mit anderen posturalen Synergien als beim bipedalen Stehen. Auf horizontale Auslenkungen der Standplattform, die beim aufrechten Stehen die *Sprunggelenkssynergie* (s.o.) auslösen, reagieren VPn beim vierfüßigen Stehen mit Aktivierung von Muskeln der gegenüberliegenden Seite (Auslenkung nach posterior: z.B. *tibialis anterior*) von proximal nach distal (Macpherson et al., 1989).

Auch wenn es möglich ist, das motorische Gleichgewicht trotz Einschränkungen einzelner sensorischer Teilsysteme aufrecht zu erhalten (Black, Shupert, Horak & Nashner, 1988; Nashner, 1976, 1977; Nashner & Berthoz, 1978), können die Möglichkeiten zum Einsatz sensorischer Teilsysteme die posturalen Synergien verändern, die bei Reaktion auf eine Störung des Gleichgewichts eingesetzt werden. Horak, Nashner und Diener (1990) untersuchten die posturalen Reaktionen von gesunden VPn auf Auslenkungen der Standfläche in posterior-Richtung und verglichen diese mit Reaktionen der gleichen VPn unter hypoxischer Betäubung der Füße und Sprunggelenke. Dabei stellten sie fest, dass bei Auslenkungen, die unter normalen Bedingungen mit der *Sprunggelenkssyner-*

gie beantwortet werden, im Falle der Betäubung die *Hüftsynergie* eine größere Bedeutung hat. Außerdem verglichen sie die Reaktionen von Patienten mit beidseitiger Vestibulopathie mit denen gesunder VPn. Die Patienten nutzten die *Hüftsynergie* nicht als Antwort auf posterior-Translationen der Standplattform, selbst wenn die Standfläche verkürzt war, was bei gesunden VPn zum Einsatz der *Hüftsynergie* führt (vgl. Horak & Nashner, 1986). Um mehr über die Bedeutung der verschiedenen beteiligten sensorischen Teilsysteme für die Kontrolle des motorischen Gleichgewichts zu erfahren ließen sie VPn mit Einschränkungen der somatosensorischen oder vestibulären Wahrnehmung und gesunde VPn unter verschiedenen sensorischen Bedingungen (Abb. 13) aufrecht stehen (Experiment 2, vgl. Black & Nashner, 1984; Black et al., 1988). In diesen Experimenten wurde festgestellt, dass es verschiedene Kategorien von Patienten mit vestibulärer Störung gibt, die unter jeweils anderen sensorischen Bedingungen stärker schwanken als gesunde VPn (Kategorie I: 5, 6; Kategorie II: 3, 6; Kategorie III: 3, 4, 5, 6; Abb. 13, McCollum, Shupert & Nashner, 1996).

Support surface condition	Visual condition		
	Fixed	Eyes closed	Sway referenced
Fixed	 1	 2	 3
Sway referenced	 4	 5	 6

Abb. 13 Die 6 sensorischen Bedingungen der Experimente von Black & Nashner, 1984; Black et al., 1988; Horak, Nashner & Diener, 1990, Experiment 2 (McCollum, Shupert & Nashner, 1996, S. 259). „Sway referenced“ bedeutet, dass die Standfläche (4, 5, 6) und/oder die visuelle Umgebung (3, 6) parallel zu den Schwankungen der VPn um die Sprunggelenksachse rotiert.

McCollum et al. (1996) nutzten diese Befunde um eine Hypothese zu entwickeln, wie sensorische Information in unterschiedlichen Umgebungen zur Gleichgewichtsregulation genutzt wird. Sie nahmen an, dass es eine Reihe von Regeln (*transition structure*) gibt, die bestimmen unter welchen Bedingungen zwischen verschiedenen *sensory states* gewechselt wird. Diese sind durch die jeweils spezielle Gewichtung sensorischer Information zur Auslösung posturaler Reaktionen charakterisiert (S. 260-261). Die Regeln zu abrupten Wechseln zwischen den verschiedenen *sensory states* basieren auf Vergleichen zwischen der Information aus jeweils zwei sensorischen Teilsystemen. Stimmen beispielsweise im *sensory state A* (Abb. 14) aufgrund der schwankungsangepassten Bewegung der Standfläche (Bedingung 4, Abb. 13) somatosensorische Information und vestibuläre Information nicht überein, wird in den *sensory state B* gewechselt.

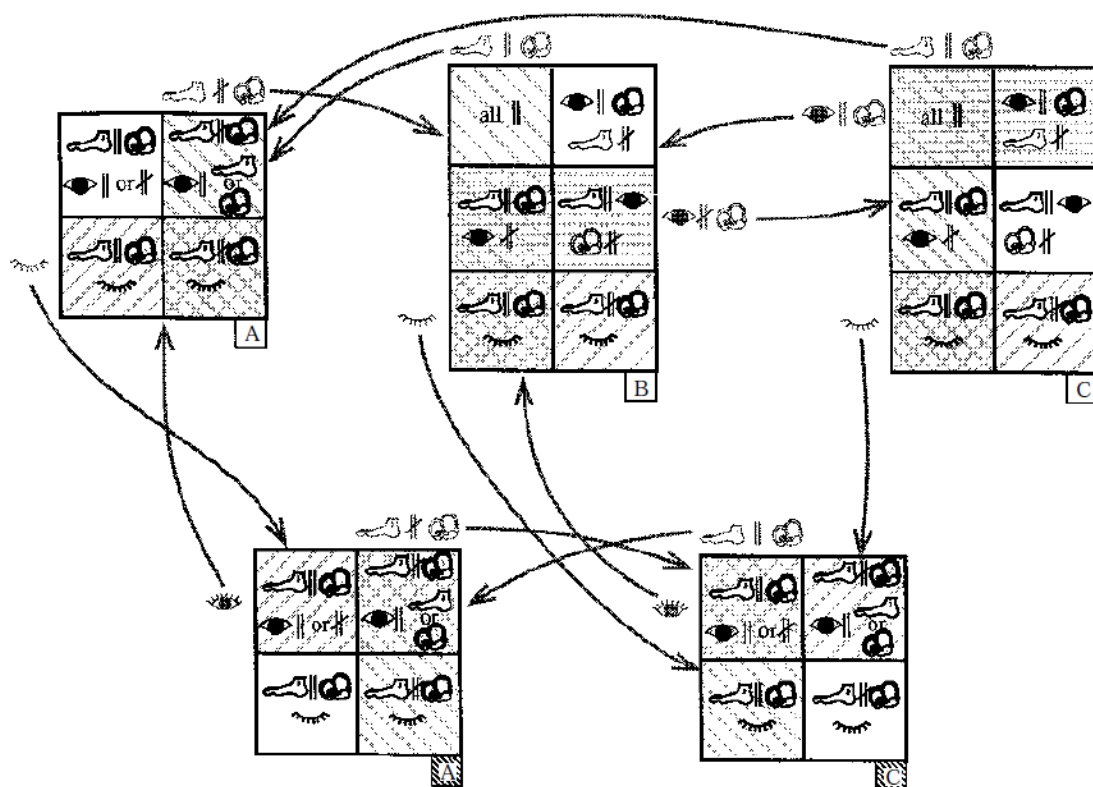


Abb. 14

Diagramm der von McCollum et al. (1996) vorgeschlagenen *transition structure* von gesunden VPn im aufrechten Stand. Die fünf zusammengesetzten Boxen symbolisieren die verschiedenen *sensory states*, die abrupt verlassen werden, wenn einer der schraffiert unterlegten Vergleiche sensorischer Information erfahren wird.

Ein Schließen der Augen würde dagegen zu einem Wechsel in den *sensory state A'* führen. Nach dieser Hypothese ist die Bedeutung der Information der verschiedenen sensorischen Teilsysteme aufgabenabhängig. Werden Versuchspersonen den gleichen Störungen mehrfach ausgesetzt, verändern sich die eingesetzten posturalen Synergien schon während der ersten Wiederholungen. Dieses wird als Feinabstimmung der posturalen Reaktion auf die jeweilige Störung verstanden und mit *Adaptation* bezeichnet (Horak, 1996). Einige Autoren verstehen unter *Adaptation* eine niedrige Form des *Lernens* (vgl. Dietz, 1992, S. 51). Von der in dieser Arbeit verwendeten Definition von *Lernen* (Kap. 2.1.1) unterscheidet sich der Begriff *Adaptation* allerdings. *Adaptation* bezieht sich, im Gegensatz zu *Lernen*, auf relativ kurzfristige, zeitlich nicht überdauernde Verhaltensänderungen. In den folgenden Experimenten werden längerfristige übungsbedingte Veränderungen von posturalen Synergien nicht untersucht. In den Experimenten zur *Adaptation* von posturalen Synergien zeigt sich, dass sich vor allem die Amplitude der innervierten Muskeln ändert (vgl. Abb. 15; Hansen, Woollacott & Debu, 1988; Horak et al., 1989; Horstmann, Gollhofer & Dietz, 1988; Keshner, Allum & Pfaltz, 1987; Pedotti et al., 1989). Zusätzlich kann es auch zu Veränderungen der Latenzzeiten einzelner Muskeln kommen (Nashner, 1976; Woollacott, von Hosten & Rösblad, 1988). Bei Wiederholungen von sehr starken Störungen, die bei der ersten Auslösung noch mit einer *Schritt-Synergie* beantwortet werden, kann es zum Einsatz von veränderten Synergien kommen, die die Störung ohne Ausfallschritt beantworten können (Debu & Woollacott, 1988; Keshner, Woollacott & Debu; Maki, Whitelaw & McIlroy, 1993; McIlroy & Maki, 1993). *Adaptationen* an wiederholte Störungen des Gleichgewichts sind hochgradig spezifisch für die jeweilige Störung. Wird beispielsweise die Unterstützungsfläche nach der *Adaptation* an eine Störung verändert, müssen sich VPn an die veränderten mechanischen Bedingungen erneut *adaptieren* (Horak & Nashner, 1986).

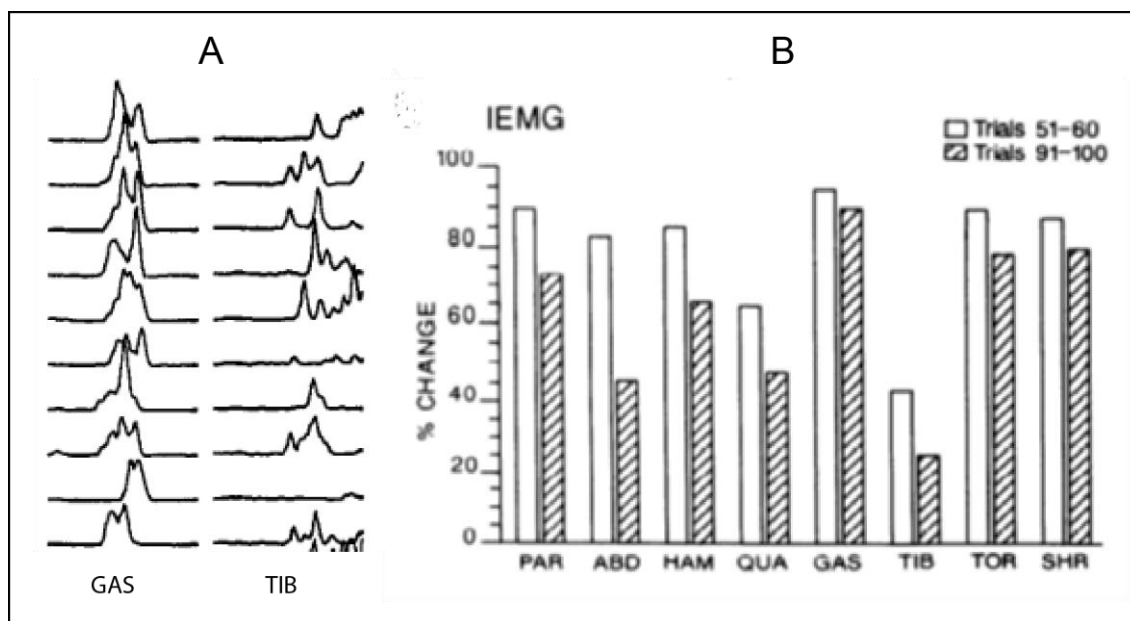


Abb. 15 Veränderung der EMG-Amplitude bei Wiederholung der gleichen mechanischen Störung. A: Veränderung des gleichgerichteten EMG-Signals von *gastrocnemius* und *tibialis anterior* bei 10 aufeinander folgenden Translationen der Standfläche (Hansen et al., 1988). Es sind jeweils die ersten 300 ms nach Bewegung der Plattform dargestellt. B: Veränderung des IEMG während 100 posturaler Störungen (Horak et al., 1989).

2.2.4.2 Antizipatorische posturale Synergien

Nicht nur mechanische Störungen von außen müssen durch Muskelkontraktionen kompensiert werden, um das motorische Gleichgewicht aufrecht zu halten. Auch Willkürbewegungen führen zu Verlagerungen des KSPs, die ohne ausgleichende Haltungskorrekturen zum Verlust des motorischen Gleichgewichts führen können. In diesem Abschnitt werden Experimente vorgestellt, in denen die muskulären Aktivitätsmuster untersucht wurden, die gemeinsam mit Willkürbewegungen auftreten. Da diese Ausgleichsbewegungen häufig zeitlich vor der Muskelaktivität der willkürlichen Bewegung starten, werden sie *antizipatorische posturale Synergien* genannt. Auch diese Aktivitätsmuster sind spezifisch für die jeweilige Bewegung, die sie begleiten (Review: Bouisset & Do, 2008).

Häufig sind *antizipatorische posturale Synergien* im Zusammenhang mit willkürlichen Armflexionsbewegungen untersucht worden (Bouisset & Zattara, 1981, 1987; Horak, Esselman, Anderson & Lynch, 1984; Lee, 1980; Lee, Buchanan &

Rogers, 1987; Zattara & Bouisset, 1988). Sie orientierten sich an dem Experiment von Belenkii, Gurfinkel & Paltsev (1967), die als erste beobachten konnten, dass VPn, die die Aufgabe hatten auf ein Signal mit einer schnellen Flexionsbewegung des gestreckten Arms zu reagieren, schon vor Innervation des *deltoideus anterior* Bein- und Rumpfmuskulatur aktivieren (vgl. Abb. 16). Diese Aktivität wird als aufgabenspezifische Vorbereitung der durch die Armbewegung ausgelösten Störung des Gleichgewichts interpretiert.

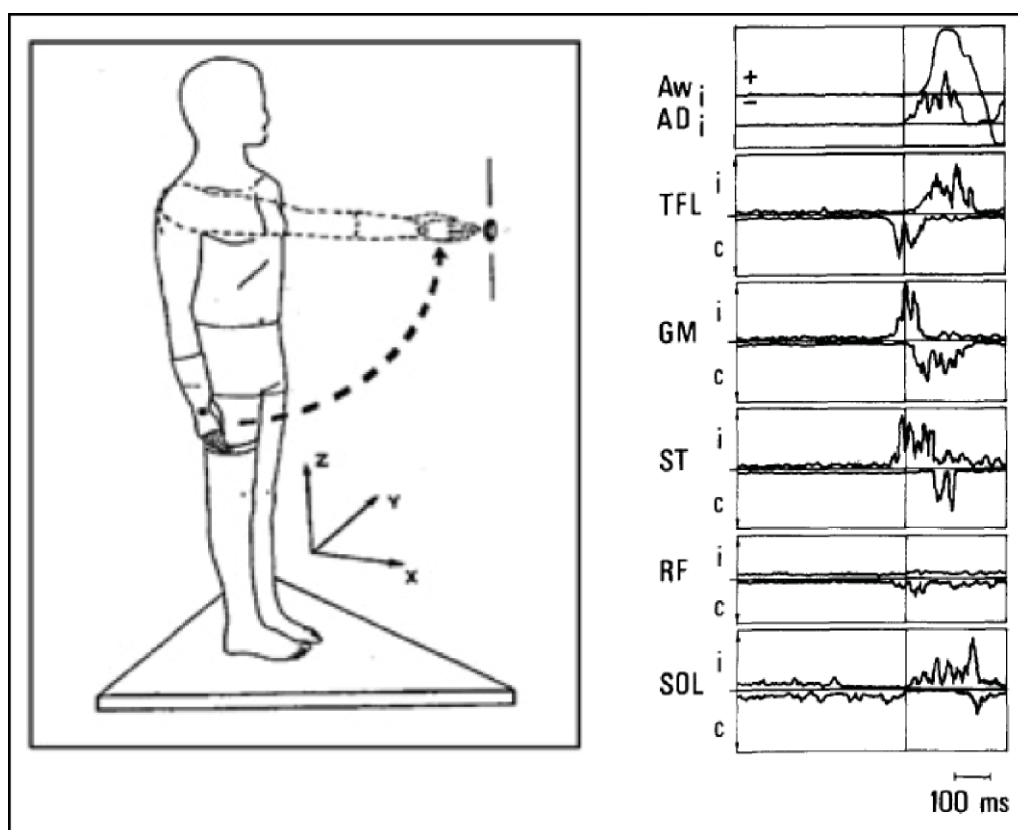


Abb. 16 Beispiel eines EMG-Musters (Bouisset & Zattara, 1981) bei einer Flexion des gestreckten Arms (Bouisset & Do, 2008). Die senkrechte Linie markiert den Beginn der Aktivität des deltoideus anterior. i: ipsilateral, c: kontralateral, Aw: vertikale Beschleunigung des Arms, AD: *deltoideus anterior*, TFL: *tensor fascia latae*, GM: *gluteus maximus*, ST: *semitendinosus*, RF: *rectus femoris*, SOL: *soleus*.

Auch bei zahlreichen anderen willkürlichen Bewegungen werden Muskelkontraktionen gefunden, die mit der Aufrechterhaltung des motorischen Gleichgewichts in Verbindung stehen. In Vorbereitung auf einen Zehenspitzen- oder Fersenstand kontrahieren VPn die jeweiligen Antagonisten (Zehenspitzen: z.B. *tibialis anterior*). Das führt zu einer Rotation im Sprunggelenk und verhindert den Verlust des motorischen Gleichgewichts durch die Kontraktion des Agonis-

ten (Diener et al., 1990; Nardone & Schieppati, 1988). Schnelles, willkürliches Vor- oder Zurückbeugen des Oberkörpers wird ebenfalls von Kontraktionen der Haltemuskulatur begleitet. Bei Rückwärtsbeugungen werden der Hauptbewegungsmuskel (*erector spinae*) und die Haltemuskeln der unteren Extremitäten (*soleus*, *ichiocrurale* Muskulatur) synchron innerviert, wohingegen beim Vorwärtsbeugen die Inhibition (*soleus*) und Innervation (*tibialis anterior*, *vastus medialis*) der Muskulatur der unteren Extremitäten vor der Aktivität des Hauptbewegungsmuskels (*rectus abdominis*) beginnt (Crenna et al., 1987; Oddsson & Thorstensson, 1986). Cordo & Nashner (1982) untersuchten antizipatorische posturale Synergien bei verschiedenen Aufgaben, in denen VPn ihr motorisches Gleichgewicht durch Ziehen oder Drücken an einem festen Griff störten. Das Ziehen an dem Griff geht mit einem ähnlichen Aktivitätsmuster (von distal nach proximal) einher, wie es bei der Sprunggelenkssynergie als Antwort auf eine posterior-Auslenkung der Standfläche beobachtet wurde (vgl. Abb. 17).

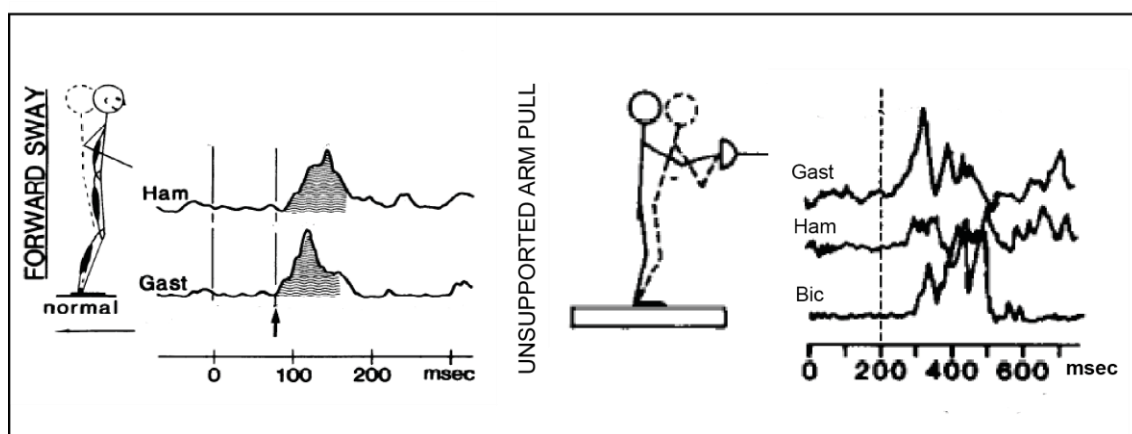


Abb. 17 Vergleich des gleichgerichteten EMGs von *gastrocnemius* (Gast) und ichtocruraler Muskulatur (Ham) als Reaktion auf eine posterior-Translation der Standfläche (links) und als Vorbereitung des Ziehens an einem festen Griff mit dem *biceps brachii* (Bic) als Hauptbewegungsmuskel (modifiziert nach Cordo & Nashner, 1982; Horak & Nashner, 1986).

Beim seitlichen Anheben eines Beins unterteilen Mouchnino et al. (1992) die Muskelaktivität, die eine Verlagerung des KSPs in Richtung des Standbeins bewirkt, in eine „ballistische“ und eine „anpassende“ Komponente. Dabei können sie zwei Strategien unterscheiden. Die eine wird von Tänzern, die andere von Ungeübten genutzt (vgl. Kap. 2.3.3). Jung (1982) und Jung und Dietz (1976) stellen fest, dass sich die aufgabenspezifischen Aktivierungsmuster der

Bein- und Rumpfmuskulatur beim Ausführen von Wurf- und Schlagbewegungen bei wiederholter Ausführung der jeweiligen Bewegung verändern.

Insgesamt ist festzustellen, dass antizipatorische posturale Synergien hochgradig spezifisch für die jeweilige Aufgabe sind. Das zeigt sich neben der Art der jeweiligen Bewegung auch für unterschiedliche Bewegungsrichtungen (Aruin & Latash, 1995; Cordo & Nashner, 1982), veränderte Bewegungszeit (Lee et al., 1987; Horak et al., 1984), unterschiedliche zu bewegendende Massen (Bouisset & Zattara, 1981; Kasai & Tanga, 1992; Zattara & Bouisset, 1988) und bei unterschiedlicher mechanischer Unterstützung (Cordo & Nashner, 1982). Da diese Synergien häufig zeitlich vor der willkürlichen Bewegung auftreten, können sie nicht durch bewegungsbegleitende Afferenzen ausgelöst worden sein. Es wird vermutet, dass sie ein Teil des Bewegungsprogramms der Willkürbewegung sind (Bouisset & Do, 2008). Das wird dadurch besonders deutlich, dass die antizipatorischen posturalen Synergien anhand der erwarteten Störung ausgewählt werden und nicht anhand der tatsächlichen (Toussaint, Michies, Baber, Commissaris & van Dieën, 1998). Auch antizipatorische posturale Synergien scheinen durch vorherige Erfahrung an die jeweilige Aufgabe adaptiert zu werden (Jung, 1982; Jung & Dietz, 1976; Zattara & Bouisset, 1986).

2.2.4.3 Posturale Synergien beim Balancieren auf einem Wackelbrett

In einigen Experimenten (Dietz & Berger, 1982; Dietz, Mauritz & Dichgans, 1980; Ivanenko, Levik, Talis & Gurfinkel, 1997) wird die muskuläre Aktivität der sprunggelenksübergreifenden Muskulatur (*tibialis anterior*, *gastrocnemius*, *solus*) bei der Bewältigung von Aufgaben untersucht, die in Variationen in vielen Gleichgewichtstrainingsprogrammen enthalten sind. Bei diesen Aufgaben müssen die VPn versuchen, das motorische Gleichgewicht auf einem Wackelbrett zu halten. Das kann dadurch erreicht werden, dass die Projektion des KSPs auf dem Kontaktpunkt zwischen Wackelbrett und Boden liegt (Abb. 18, A), was bei jeder Neigung des Wackelbretts möglich ist (Abb. 18, B). Ein besonders wichtiges Merkmal der Aufgaben ist die Relation der Höhe des Wackelbretts zum Radius seiner Unterstützungsfläche (Abb. 18, C).

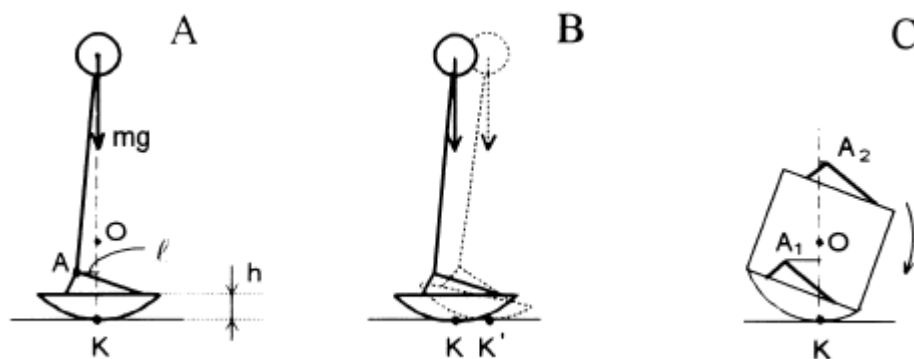


Abb. 18 Das mechanische Gleichgewicht beim Stehen auf einem Wackelbrett (Ivanenko et al., 1997). A: Die Voraussetzung des Gleichgewichts: Projektion des KSPs stimmt mit dem Kontaktpunkt zwischen Wackelbrett und Boden überein. B: Veränderung des Kontaktpunktes bei Veränderung der Wackelbrett-Neigung. C: Horizontale Verschiebung der Projektion des Sprunggelenks in Relation zum Kontaktpunkt bei einer Vorwärtsrotation des Wackelbretts. Die unterschiedliche Höhe bewirkt einerseits eine Zunahme des Abstands (A_1), andererseits eine Abnahme (A_2). O: Mittelpunkt des Kreises der Wackelbrett-Bodenfläche. h: Höhe des Wackelbretts. l: Abstand zwischen Projektion des Sprunggelenks und Kontaktpunkt (K, K').

Ist der Radius größer als die Höhe, findet man Aktivitätsmuster, die denen im Stand auf festem Boden ähneln (Ivanenko et al., 1997, S. 111). Eine Rotation des Wackelbretts wird mit einer Kontraktion des jeweils gedehnten Muskels beantwortet (vorwärts: *gastrocnemius*, rückwärts: *tibialis anterior*, Dietz et al., 1980). Bei relativ größerer Höhe im Vergleich zum Radius verändert sich allerdings das Aktivitätsmuster dahin, dass bei Vorwärtsrotationen der durch die Rotation verkürzte *soleus* kontrahiert (Ivanenko et al., S. 111). Eine größere Höhe des Wackelbretts bedeutet also nicht eine bloße Schwierigkeitssteigerung, die mit einer Veränderung der Schwelle zur Auslösung eines Dehnungsreflexes (Dietz et al., 1980) gelöst werden kann, sondern erfordert den Einsatz einer anderen posturalen Synergie. Diese Synergie könnte als Sprunggelenks-synergie bezeichnet werden, da die größten Bewegungsamplituden im Sprunggelenk beobachtet werden. Sie sollte aber nicht mit der Sprunggelenkssynergie bei horizontalen Plattformtranslationen (Kap. 2.2.4.1) verwechselt werden.

Ivanenko et al. (1997) ließen ihre VPn auch mit geschlossenen Augen auf Wackelbrettern mit relativ zum Radius großer Höhe balancieren. Keiner VPn gelang es unter diesen Bedingungen die Aufgabe 20 s lang zu bewältigen (S. 111), was bei größerem Radius den meisten VPn gelingt (Dietz et al., 1980;

Ivanenko et al., 1997). Das spricht für Unterschiede in der Bedeutung der beteiligten sensorischen Teilsysteme beim Balancieren auf unterschiedlichen Wackelbrettern.

2.2.4.4 Zusammenfassung: Posturale Synergien

Reaktive und antizipatorische posturale Synergien ermöglichen die Aufrechterhaltung des motorischen Gleichgewichts. Die Synergien sind hochgradig spezifisch für die jeweilige Aufgabe. Insbesondere Unterschiede in der Biomechanik der Aufgaben, wie die Richtung der Störung (Aruin & Latash, 1995; Henry et al., 1998b), die Größe der Störung (Diener et al., 1988), die Art der Unterstützungsfläche (Gollhofer et al., 1989; Horak & Nashner, 1986; Ivanenko et al., 1997) und die Position des Körpers (Horak & Moore, 1993) sowie sensorische Bedingungen (Ivanenko et al., 1997; McCollum et al., 1996), scheinen für die Auswahl und Modulation der posturalen Synergien entscheidend zu sein. Darüber hinaus hat auch die Erfahrung mit der zu bewältigenden Aufgabe einen Einfluss auf die muskuläre Aktivität beim Erhalten des motorischen Gleichgewichts (Hansen et al., 1988).

Aufgrund dieser hohen Aufgabenspezifität der posturalen Kontrolle vermutet Olivier (1997), dass die Transferabilität der Gleichgewichtsregulation „insbesondere von der Art und Bedeutung beteiligter sensorischer Teilsysteme sowie von der Art und Bedeutung der beteiligten posturalen Reaktion und Antizipation abhängen“ könnte (S. 74).

2.3 Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben

Neben der Berücksichtigung der hohen Aufgabenspezifität bei der motorischen Kontrolle des Gleichgewichts, erlauben es prinzipiell drei verschiedene experimentelle Paradigmen Hinweise auf Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben zu finden. Dabei ist bei allen Ansätzen, die kein experimentelles Transferdesign aufweisen, mit Einschränkungen der Validität zu rechnen (Bortz & Döring, 2006, S. 517-519, S. 529-530). Nach einer Definition von Gleichgewichtsaufgaben (Kap. 2.3.1) werden querschnittliche Zusammenhangsanalysen (Kap. 2.3.2),

querschnittliche, quasiexperimentelle Expertiseunterschiede (Kap. 2.3.3) und Transferexperimente (Kap. 2.3.4) vorgestellt und kritisch diskutiert.

2.3.1 *Definition Gleichgewichtsaufgaben*

Vor der Recherche über die Befunde zum Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben steht noch eine Definition des Begriffs *Gleichgewichtsaufgabe* aus, die es ermöglicht die Suche einzuschränken. Die für diese Arbeit gewählte Definition von *Aufgabe* beinhaltet noch keine Klassifizierung (vgl. Kap. 2.1.2). Für eine Klassifizierung scheinen prinzipiell *stimulus complex* und/oder *set of instructions* (Hackman, 1969) geeignet zu sein (vgl. Kap. 2.1.2).

Der Versuch anhand des *stimulus complex* Gleichgewichtsaufgaben zu definieren stößt allerdings sehr schnell an Grenzen. Zwar sind viele der Aufgaben, die als Gleichgewichtsaufgaben bezeichnet werden, dadurch gekennzeichnet, dass das motorische Gleichgewicht auf einem „instabilen“ Untergrund gehalten werden muss. Eine Definition anhand des Untergrunds würde allerdings eine der am häufigsten untersuchten Gleichgewichtsaufgaben, den ruhigen, aufrechten Stand auf einer Kraftmessplatte, ausschließen. Weiterhin würden so genannte supraposturale Aufgaben (Stoffregen et al., 2007), wie beispielsweise ein Golf-Pitch auf nachgebendem Boden, als Gleichgewichtsaufgaben verstanden. Bei diesen Aufgaben ist eine gelungene Regulation des Gleichgewichts zwar ein bedeutsamer Einflussfaktor für die Leistung, erklärt aber nicht allein das Gelingen oder Misslingen des Schlags. Würde die Qualität des Schlags allein durch die Schwankungen des KSPs während des Schlages bestimmt, sollte sie dagegen als Gleichgewichtsaufgabe verstanden werden.

Eine Definition anhand des *set of instructions* erscheint dagegen mehr zu versprechen. Von einer Gleichgewichtsaufgabe könnte gesprochen werden, wenn durch die Instruktionen das Ziel vorgegeben wird, die Resultierende der auf den Körper wirkenden Kräfte und Drehmomente (vgl. Kap. 2.2.2) zu kontrollieren. Dabei kann das *set of instructions* von außen vorgegeben sein, oder auch von der ausführenden Person selbst gewählt werden (vgl. Hackman, 1969, S. 113). Dieses beinhaltet auch unbewusst vorgegebene Instruktionen. Deswegen soll in dieser Arbeit folgende Definition gelten:

Gleichgewichtsaufgaben sind Aufgaben, bei denen das Erreichen des instruierten Ziels direkt davon abhängig ist, dass die Resultierenden aller auf den Körper wirkenden Kräfte und Drehmomente innerhalb bestimmter Grenzwerte liegen. Als abhängige Variablen zur Überprüfung von Leistungen bei Gleichgewichtsaufgaben kommen deshalb nur solche infrage, die von den auf den Körper einwirkenden Kräften und Drehmomenten abhängig sind.

2.3.2 Querschnittliche Zusammenhangsanalysen

Die Vorhersage über den zu erwartenden Transfer steht eigentlich nicht im Mittelpunkt des dimensionsanalytischen Ansatzes der differenziellen Psychologie, dessen Grundlage die Analyse von Zusammenhängen verschiedener Items ist. Vielmehr richtet sich das Interesse auf die Erklärung und Vorhersage interindividueller Unterschiede. Es wird aber vorgeschlagen, dass er auch für die Theoriebildung im Bereich des Lernens einzusetzen sei (Ferguson, 1956; Underwood, 1975; vgl. auch Fleishman, 1987, S. xiv). Die aus dem dimensionsanalytischen Ansatz abgeleiteten Transfererwartungen haben in der Sportpraxis eine große Bedeutung für die Konzeption von Koordinationstraining erlangt (Hirtz, 2007). Deshalb soll er an dieser Stelle thematisiert werden.

Zentraler Begriff im dimensionsanalytischen Ansatz sind die koordinativen Fähigkeiten als grundlegende Ressource der motorischen Kontrolle. Unter koordinativen Fähigkeiten werden „relativ verfestigte allgemeine koordinative Leistungsvoraussetzungen für die Bewältigung motorischer Aufgaben“ (Olivier & Rockmann, 2003, S. 140; vgl. auch Schmidt & Lee, 2005, S. 275) verstanden, die von deutlich spezifischeren koordinativen Fertigkeiten unterschieden werden (Fleishman, 1964, S. 9). Im letzten Jahrhundert sind verschiedene Konzepte zu den koordinativen Fähigkeiten entwickelt worden, die sich in Anzahl und Zusammensetzung teilweise deutlich unterscheiden (Cumbee, 1970; Fleishman, 1964; Hirtz, 1978; Roth, 1982; Zimmermann, 1987). Die wichtigste statistische Methode zur empirisch-induktiven (Roth, 1982, S. 42-54) Identifikation von Fähigkeiten ist die Faktorenanalyse. Die Faktorenanalyse ist ein dimensionsreduzierendes Verfahren, das „Variablen gemäß ihrer korrelativen

Beziehungen in voneinander unabhängige Gruppen einteilt.“ (Bortz, 2005, S. 512). Diesen Gruppen liegt jeweils eine synthetische Variable, ein so genannter Faktor, zugrunde, der so hoch wie möglich mit den Variablen dieser Gruppe korreliert und möglichst geringe Zusammenhänge mit anderen Faktoren aufweist (Bortz, 2005, S. 512-513). Um koordinative Fähigkeiten zu identifizieren, absolviert typischerweise eine große Anzahl von VPn eine Testbatterie. Die Leistungen bei den einzelnen Tests werden in solcher Art faktorenanalytisch ausgewertet, dass ihre Korrelationen untereinander durch eine geringe Anzahl von Faktoren erklärt werden kann. Anschließend kann versucht werden, diesen Faktoren eine inhaltliche Bedeutung zuzuschreiben. Wenn man beispielsweise einen Faktor finden würde, der hoch mit den Leistungen der Gleichgewichtstests dieser Testbatterie korreliert und relativ unabhängig von Leistungen bei Aufgaben mit geringen Anforderungen an die Gleichgewichtsregulation ist, könnte man diesen Faktor möglicherweise Gleichgewichtsfähigkeit nennen. Tatsächlich enthalten einige Konzepte der koordinativen Fähigkeiten einen solchen Faktor (Fleishman, 1964, S. 97; Cumbee, 1970).

Wenn man versuchen möchte aus dem dimensionsanalytischen Ansatz Vorhersagen über den Transfer zwischen Gleichgewichtsaufgaben abzuleiten, muss man Grundannahmen treffen, die nicht unumstritten sind, nämlich dass die Gleichgewichtsfähigkeit grundsätzlich trainierbar ist (vgl. Schmidt & Lee, 2005, S. 275, S. 453) und dass diese Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit durch das Üben von Aufgaben, denen die Gleichgewichtsfähigkeit zugrunde liegt, erreicht werden kann (Hirtz, 2007, S. 214). Unter diesen Voraussetzungen könnte man annehmen, dass das Üben irgendeiner beliebigen Gleichgewichtsaufgabe zur Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit führt. Damit würde ein positiver Transfer auf jede beliebige andere Gleichgewichtsaufgabe bewirkt werden können, da die Gleichgewichtsfähigkeit als die entscheidende Ressource zur Bewältigung aller Gleichgewichtsaufgaben angesehen wird. Diese Erklärung weist große Gemeinsamkeiten mit den Ideen der *doctrine of formal discipline* (vgl. Kap. 2.1.3) auf. Die *Ähnlichkeit* zwischen den Aufgaben (Kap. 2.1.4) besteht nach diesem Ansatz darin, dass der Übungs- und der Transferaufgabe die gleichen Fähigkeiten zugrunde liegen. Zur transfer-experimentellen Prüfung dieser

Annahme vgl. Kap. 2.3.4. Allerdings wird die Annahme einer Gleichgewichtsfähigkeit als grundlegende Ressource für alle Gleichgewichtsaufgaben auch unabhängig von den geäußerten Transferannahmen (Mechling, 2003, S. 354-357) scharf kritisiert. Die Kritik richtet sich vor allem darauf, dass die Faktorenanalyse an sich nur ein hypothesengenerierendes Verfahren ist (Bortz, 2005, S. 511; Schmidt & Lee, 2005, S. 283) und die gefundenen Faktoren anschließend nochmals überprüft werden müssten.

Setzt man dennoch dieses Konzept voraus, ist daraus die Vorhersage abzuleiten, dass die Leistungen bei verschiedenen Gleichgewichtsaufgaben stark zusammenhängen. Diese Annahme ist allerdings schon häufig widerlegt worden, wie im Folgenden gezeigt wird. Außerdem sprechen querschnittliche, quasiexperimentelle Experten-Novizen-Vergleiche (vgl. Kap. 2.3.3) und Transferexperimente gegen eine allgemeine Gleichgewichtsfähigkeit als Ressource zur Bewältigung von Gleichgewichtsaufgaben.

Bereits 1939 veröffentlichte Bass eine Faktorenanalyse, in die die Testergebnisse von 119 jungen erwachsenen Frauen bei 16 verschiedenen Gleichgewichtsaufgaben (14 davon auf einem Balance-Stick, vgl. Abb. 19), vier Tests zur Funktion der Bogengänge und drei weiteren Tests herangezogen wurden. Die Korrelationskoeffizienten der Gleichgewichtstests untereinander liegen im Bereich von $r = -.269$ bis $r = .758$ (Einbeinstand auf dem Balance-Stick, Fuß orthogonal zum Stick, aufrechte Haltung/ Einbeinstand auf dem Balance-Stick, Fuß orthogonal zum Stick, gebeugte Haltung). Sie identifiziert folgende 8 Gleichgewichtsfaktoren (1939, S. 46-50):

Faktor I – Tests mit geöffneten Augen laden auf diesen Faktor.

Faktor II – Tests mit geschlossenen Augen laden auf diesen Faktor.

Faktoren III und IV – Faktoren, auf die die Tests zur Funktion der Bogengänge laden.

Faktor V – Tests auf dem Balance-Stick, mit geschlossenen Augen laden auf diesen Faktor.

Faktor VI – möglicherweise ein genereller Gleichgewichtsfaktor.

Faktor VII – Tests mit geöffneten Augen und Fußposition orthogonal zum Balance-Stick laden auf diesen Faktor.

Faktor VIII – Tests mit geöffneten Augen und Fußposition längs zum Balance-Stick laden auf diesen Faktor.

Die teilweise sehr schwachen Korrelationen zwischen den einzelnen Gleichgewichts-Tests und die große Anzahl an identifizierten Gleichgewichtsfaktoren sprechen gegen die Annahme einer generellen Gleichgewichtsfähigkeit, die einen weiten Transfer beim Üben verschiedener Gleichgewichtsaufgaben ermöglichen würde. Vielmehr deuten die Ergebnisse an, dass die Verfügbarkeit visueller Information (Faktoren I, II, V, VII, VIII) und möglicherweise die Richtung, in der die Anforderung an die Gleichgewichtsregulation besonders hoch ist (Faktoren VII und VIII), wichtige Faktoren für die Vorhersage von Transfer sein könnten.

Scott (1955) ließ zwei Gruppen junger erwachsener Frauen Testbatterien mit 28 motorischen Tests (Gruppe 1, $n = 100$) bzw. 25 motorischen Tests (Gruppe 2, $n = 70$) absolvieren. Davon können vier bzw. drei Tests als Gleichgewichtsaufgaben eingeordnet werden: Die erste Aufgabe bestand darin, möglichst lange das Gleichgewicht nach einem seitlichen Sprung zu halten; beim zweiten Test ging es um den Einbeinstand mit geschlossenen Augen auf dem Balance-Stick, Fußposition parallel zum Balance-Stick; die weiteren Aufgaben umfassten seitliche Schwankungen des KSPs, die im Einbeinstand mit geschlossenen Augen möglichst gering zu halten waren und eine Gewichtsverlagerung von einem Bein zu einer gleichmäßigen Gewichtsverteilung (nur Gruppe 1). Die Zusammenhänge dieser Tests sind insgesamt eher als gering einzuschätzen, der höchste gefundene Korrelationskoeffizient ist $r = .40$ (Seitwärtssprung/Balance-Stick in Gruppe 1, S. 338, in Gruppe 2 $r = .27$, S. 340). Aus ihren Ergebnissen schlussfolgerte Scott, 1955, S. 339), dass von einer hohen Spezifität und nicht von einer generellen kinästhetischen Fähigkeit auszugehen ist.

Bachman (1961) untersuchte Zusammenhänge von Leistungen bei zwei Gleichgewichtstests, dem Bachman-Ladder-Test und einem Stabilometer-Test. Diese Tests wurden von insgesamt 320 VPn zehnmal absolviert. In drei Altersgruppen (6-11 Jahre, 12-18 Jahre, 19-26 Jahre), getrennt nach Geschlecht untersuchte er die Korrelationen dieser Tests für die ersten beiden und die letzten beiden Versuche, sowie die Verbesserung während der zehn Ausführungen. Er

fand eine einzige signifikante Korrelation (für die männlichen 19- bis 26-jährigen VPn am Anfang der Tests), die allerdings einen negativen Korrelationskoeffizienten aufweist ($r = -.424$, S. 9). Bachman maß dieser Korrelation aber keine Bedeutung zu, da es sich um ein zufällig signifikantes Ergebnis handeln könnte (vgl. Kap. 3.3, multiples Testen). Aufgrund seiner Ergebnisse schloss er aus, dass es eine generelle koordinative Fähigkeit oder eine generelle motorische Lernfähigkeit gibt (S. 10).

Die Arbeiten von Fleishman gehören zu den bekanntesten Untersuchungen zur Identifikation von motorischen Fähigkeiten. 1964 veröffentlichte er eine Faktorenanalyse, in die die Ergebnisse von 204 Navy-Rekruten bei 30 Tests, davon 10 Gleichgewichtstests, einfließen. Acht der Gleichgewichtstests wurden auf dem Balance-Stick ausgeführt (Kombinationen von Einbein-/Beidbeinstand, Augen geöffnet/geschlossen, Füße orthogonal/parallel zum Stick), dazu kamen Tests zum Rückwärtsbalancieren und zum Halten des Gleichgewichts auf einem Balancierbrett. Auch in dieser Untersuchung sind die Korrelationen zwischen den Gleichgewichtsaufgaben im Allgemeinen nicht sehr stark. Die größten Korrelationskoeffizienten bestehen zwischen folgenden Aufgaben auf dem Balance-Stick (S. 94): Einbeinstand, orthogonal, Augen geöffnet/Einbeinstand, parallel, Augen geöffnet $r = .47$; Einbeinstand, orthogonal, Augen geöffnet/Beidbeinstand, orthogonal, Augen geöffnet $r = .47$; Einbeinstand, parallel, Augen geschlossen/Einbeinstand, orthogonal, Augen geschlossen $r = .46$; Einbeinstand, parallel, Augen geschlossen/Beidbeinstand, orthogonal, Augen geschlossen $r = .47$; Beidbeinstand, orthogonal, Augen geschlossen/Beidbeinstand, parallel, Augen geöffnet $r = .47$. Trotzdem kann Fleishman einen Faktor identifizieren, auf den die Gleichgewichtsaufgaben laden, den er *Gross Body Equilibrium* nennt (S. 97). Allerdings ist auf diesen Faktor die Ladung der Aufgaben mit geschlossenen Augen deutlich stärker als die der Aufgaben mit geöffneten Augen.

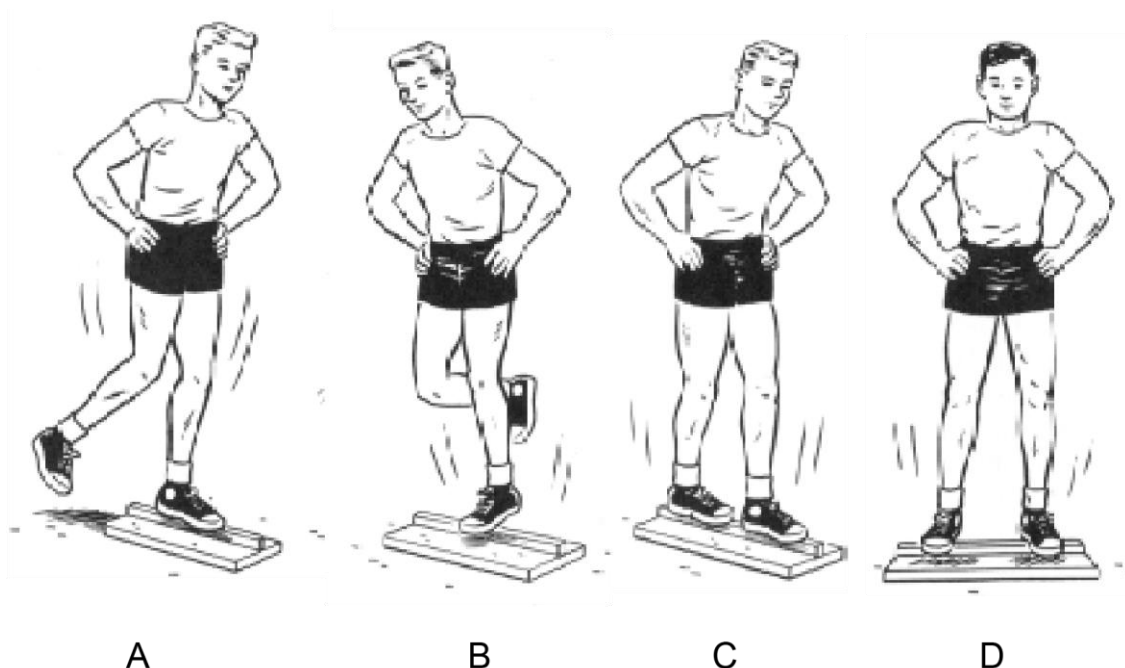


Abb. 19 Aufgaben mit geöffneten Augen auf dem Balance-Stick (Fleishman, 1964, S. 86-87). A: Einbeinig, Fußposition parallel zum Stick; B: Einbeinig, orthogonal; C: Beidbeinig, parallel; D: Beidbeinig, orthogonal.

Drowatzky und Zuccato (1967) untersuchten die Zusammenhänge von sechs Aufgaben, in denen die VPn in verschiedenen Positionen ruhig stehen mussten. Auch sie fanden nur sehr schwache Zusammenhänge ($-.19 < r < .31$), was gegen die Annahme einer generellen Gleichgewichtsfähigkeit spricht.

Tsigilis, Zachopoulou und Mavridis (2001) untersuchten Zusammenhänge zwischen folgenden Aufgaben: der Aufgabe ein Stabilometer (vgl. Kap. 3.1.2) im Gleichgewicht zu halten; einem Test, bei dem die VPn von einer Markierung zur nächsten Hüpfen mussten und nach der Landung auf der Markierung stehen bleiben mussten (*Modified Bass Test*); und zwei Tests bei denen ein Schwebebalken möglichst schnell überquert werden musste, einmal mit normalen Schritten und einmal mit Side-Steps. Sie fanden lediglich eine signifikante Korrelation zwischen den beiden Tests auf dem Schwebebalken ($r = .65$). Die anderen Korrelationskoeffizienten liegen zwischen $-.14 < r < .22$. Auch diese Autoren vermuten, dass mit den verschiedenen Tests jeweils nur spezifische Aspekte des Gleichgewichts überprüft werden.

Hrysomallis, McLaughlin und Goodman (2006) untersuchten bei professionellen Footballspielern die Zusammenhänge folgender Aufgaben: *Ruhiges Stehen im*

Einbeinstand auf einer Kraftmessplatte und Ruhiges Stehen im Einbeinstand auf einem Balance Pad (Airex) im Anschluss an einen Schritt auf das Balance Pad. Sie fanden einen signifikanten, aber schwachen Zusammenhang der beiden Tests für das rechte Bein ($r = .41$). Die Korrelation der beiden Tests für das linke Bein ist nicht signifikant. Die Autoren schlussfolgerten, dass man nicht aus Leistungen bei statischen Gleichgewichtsaufgaben auf Leistungen bei dynamischen Gleichgewichtsaufgaben schließen darf (S. 291).

Turbanski und Schmidbleicher (2010) ließen 40 Versuchspersonen die Aufgaben *Einbeinstand mit geöffneten Augen auf einer Kraftmessplatte, Einbeinstand mit geöffneten Augen auf einer federgelagerten, beweglichen Standfläche* und *Reaktion auf eine Auslenkung der Standfläche in anterior-Richtung* absolvieren. Sie fanden keine signifikante Korrelation zwischen den Aufgaben. Als Grund dafür vermuten sie unterschiedliche Kontrollstrategien bei den Aufgaben, können aber keinen Wechsel von einer Sprunggelenks-Strategie zu einer Hüft-Strategie anhand ihrer EMG-Daten belegen.

Insgesamt sprechen die vorgestellten schwachen Korrelationen nicht für die Existenz einer allgemeinen Gleichgewichtsfähigkeit, sondern sind besser mit der Spezifitätshypothese (Henry, 1958) vereinbar. Somit kann die weite Transferannahme, die aus dem Konzept der Gleichgewichtsfähigkeit abgeleitet wird (Hirtz, 2007), nicht aufrechterhalten werden. Ob visuelle Information während der Aufgabenbewältigung zur Verfügung steht, scheint wichtig für den Zusammenhang von Aufgabenleistungen zu sein. Das ist sehr gut mit der Spezifitätshypothese bezogen auf die beteiligten sensorischen Teilsysteme (Proteau, 1992, vgl. Kap. 2.1.4.2) vereinbar. Darüber hinaus könnten unterschiedliche motorische Fertigkeiten (Kap. 2.1.4.1) für die geringen Zusammenhänge verantwortlich sein.

2.3.3 Querschnittliche, quasiexperimentelle Expertiseunterschiede

Eine weitere Möglichkeit Hinweise auf Bedingungen für Transfer zu finden ergibt sich daraus, bereits bestehende Gruppen, wie beispielsweise Sportlerinnen und Sportler verschiedener Sportarten, auf Unterschiede in ihrer Leistung

bei Gleichgewichtsaufgaben zu untersuchen. Gruppenunterschiede könnten auf das langjährige sportliche Training zurückzuführen sein, dass möglicherweise Übungen enthielt, die die Leistung der untersuchten Aufgaben positiv beeinflussen konnten. Auch diese Vergleiche müssen als hypothesengenerierend angesehen werden, da Gruppenunterschiede in diesem quasiexperimentellen Zugang auch andere Ursachen haben könnten, wie z.B. eine Selektion (Bachleitner, 1985) von Sportlerinnen und Sportlern mit besonders guten Voraussetzungen für Gleichgewichtsleistungen in einer der untersuchten Sportarten. Im transferexperimentellen Ansatz (Kap. 2.3.4) wird diesem Problem Rechnung getragen indem die Bedingungen bis auf die unabhängigen Variablen konstant gehalten werden. Das ist in diesem quasiexperimentellen Ansatz nicht möglich. Trotzdem könnte es sein, dass Leistungsunterschiede zwischen Experten und Novizen einer Sportart oder zwischen Experten verschiedener Sportarten aufgrund von Trainingserfahrung zustande kommen. Man könnte diese Unterschiede in den folgenden quasiexperimentellen Untersuchungen vorsichtig als Hinweise auf Transfer interpretieren.

Mouchnino et al. (1992) verglichen antizipatorische posturale Synergien beim seitlichen Anheben eines Beins zwischen Tänzern und nicht sportlich aktiven VPn (vgl. Kap. 2.2.4.2). Bei dieser Aufgabe muss die Projektion des KSPs in Richtung des Standbeins verschoben werden, was mit einer seitlichen Neigung des Körpers einhergeht, die bei den Tänzern deutlich geringer ausfiel. Aber auch qualitativ unterscheiden sich die Bewegungen der beiden Gruppen. Die Tänzer hielten den Kopf in einer aufrechten Position, indem sie im Hüftgelenk des Standbeins entgegen der Neigung rotierten, was die Autoren *translation strategy* nennen. Die Ungeübten hielten hingegen mit einer Gegenrotation im Hals den Kopf aufrecht (*inclination strategy*, Abb. 20). Die Autoren erklären diese Unterschiede durch Lernen (S. 1597), aber auch Beweglichkeitsunterschiede zwischen den zwei Gruppen würden zu diesem Ergebnis führen.

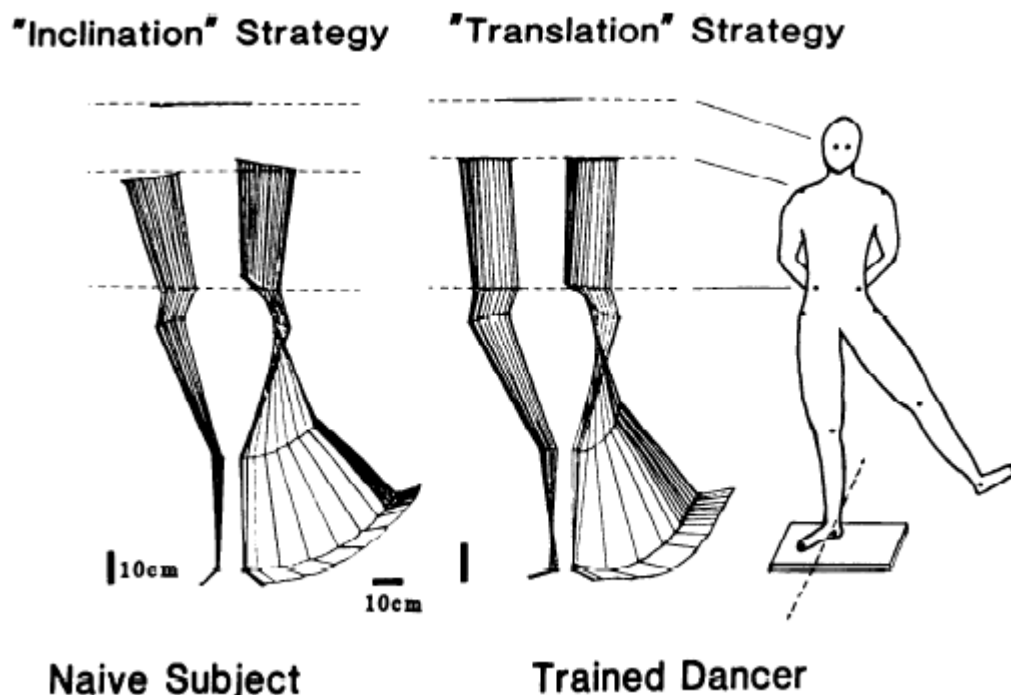


Abb. 20 Beispiele für die Unterschiede in der Kinematik beim seitlichen Anheben eines Beins zwischen Untrainierten und Tänzern (Mouchnino et al., 1992, S. 1591).

Fetz und Hatzl (1994) verglichen Leistungen bei einer Stabilometeraufgabe (vgl. Kap. 3.1.2) von Leistungssportlern der Sportarten Snowboard, Ski und Sportklettern mit denen von Sportstudierenden. Dabei zeigte sich, dass die Leistungssportler das Stabilometer signifikant länger in einem Toleranzbereich um die Horizontale halten konnten als die Sportstudierenden. Dies lässt sich als Hinweis für einen positiven Transfer von dem leistungssportlichen Training auf die Stabilometeraufgabe interpretieren. Welche Trainingsinhalte zu diesem Transfer geführt haben, ist aus dieser Untersuchung allerdings nicht abzuleiten. Ebenfalls ist der Umkehrschluss der Autoren, dass ein Stabilometertraining geeignet wäre die jeweilige sportartspezifische Leistung zu verbessern, allein aufgrund der eigenen Ergebnisse nicht zulässig.

Bressel, Yonker, Kras und Heath (2007) verglichen Fußballerinnen, Basketballerinnen und Turnerinnen beim ruhigen Stehen mit geschlossenen Augen in verschiedenen Standpositionen auf festem Boden und auf einem Balance Pad (Airex) sowie beim *Star Excursion Balance Test* (Gribble & Hertel, 2003; Abb. 21). Für den Summenscore der Stehaufgaben (Einzelergebnisse werden nicht genannt) zeigten sich signifikante Vorteile der Turnerinnen gegenüber den

Basketballerinnen. Bei dem *Star Excursion Balance Test* hatten die Fußballerinnen eine signifikant größere Reichweite als die Basketballerinnen.

Perrin, Deviterne und Perrot (2002) verglichen langjährig trainierende männliche Judoka und Tänzerinnen mit nicht sportlich aktiven Kontrollpersonen bei den Aufgaben *Ruhiges Stehen mit geöffneten/geschlossenen Augen* und *Ruhiges Stehen auf einer oszillierenden Standplattform mit geöffneten/geschlossenen Augen*. Dabei fanden sie bei beiden Tests mit geöffneten Augen Vorteile für die Sportler und Sportlerinnen. Bei den Tests mit geschlossenen Augen schnitten die Judoka besser ab als die beiden anderen Gruppen. Mit geschlossenen Augen auf der oszillierenden Standfläche schwankten die Tänzerinnen sogar stärker als die Kontrollpersonen. Die Autoren vermuten, dass judospezifisches Training besser auf andere Gleichgewichtsaufgaben transferierbar ist als tänzerisches Training.

Vuillerme et al. (2001) testeten Turner und Experten aus Spielsportarten in den Aufgaben *Ruhiges Stehen im beidbeinigen Stand*, *Ruhiges Stehen im Einbeinstand* auf hartem und auf weichem Untergrund, jeweils mit geöffneten und geschlossenen Augen. Sie konnten für die Aufgaben mit geöffneten Augen und die Aufgabe *Beidbeiniger Stand mit geschlossenen Augen* keine Unterschiede zwischen den Gruppen feststellen. Bei den beiden Aufgaben im Einbeinstand mit geschlossenen Aufgaben hatten allerdings die Turner Vorteile. Nach Meinung der Autoren könnte das turnerische Training dazu geführt haben, dass die Turner besser zwischen dem visuellen und anderen sensorischen Teilsystemen wechseln können, oder dass Turner ein generell sensibleres sensorisches System haben (S. 86).



Abb. 21 Star Excursion Balance Test, Reichrichtung posterior (Rasool & George, 2007, S. 179).

Gautier, Thouvarecq & Larue (2008) untersuchten, ob zwischen Leistungsturnern und Leistungssportlern anderer Sportarten qualitative und/oder quantitative Unterschiede in der Gleichgewichtsregulation nachzuweisen sind. Die Versuchspersonen hatten die Aufgabe, mit geöffneten Augen möglichst ruhig auf einer Kraftmessplatte zu stehen. Dabei war an ihrem Rücken ein Gewicht befestigt, durch das eine Kraft in posterior-Richtung auf die VPn ausgeübt wurde. Bei zufällig ausgewählten Versuchen wurde das Gewicht plötzlich entfernt. Dabei wurden Veränderungen des Centre of Pressure (CoP) in anterior-posterior-Richtung und durch Videoaufnahmen auch die Kinematik der Ausgleichsbewegung erfasst. Insgesamt konnten nur geringe quantitative Unterschiede zwischen den Gruppen nachgewiesen werden. Lediglich in der Reaktionszeit und in der Zeit, bis die Schwankungen einen Schwellenwert unterschritten, zeigten sich Vorteile für die Turner. Die Auswertung der Kinematik offenbarte dagegen

deutliche qualitative Unterschiede. Die Reaktionen der Sportler anderer Sportarten waren durch starke Bewegungen im Hüftgelenk gekennzeichnet. Bei den Turnern war hingegen ein Beugen der Kniegelenke an der Stabilisierung des Gleichgewichts beteiligt. Es könnte sein, dass die Turner eine sportartspezifische Regulation des Gleichgewichts, die mit geringeren Punktabzügen bewertet wird, auf die Laboraufgabe übertragen haben.

Die Unterschiede zwischen Sportlern verschiedener Sportarten bei unterschiedlichen Aufgaben sprechen gegen das Konzept einer allgemeinen Gleichgewichtsfähigkeit (Kap. 2.3.3). Wenn diese quasiexperimentellen Befunde genutzt werden sollen, um Hinweise auf Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben herzuleiten, muss man schlussfolgern, dass der Transfer vom sportartspezifischen Training auf verschiedene Gleichgewichtsaufgaben unterschiedlich gut gelingt. In den vorgestellten Studien scheint besonders die mechanische Ähnlichkeit der Aufgaben, die zum Einsatz geübter posturaler Synergien führen könnte, und eine Übereinstimmung der Verfügbarkeit sensorischer Information zwischen sportlichen Aufgaben und den Aufgaben des jeweiligen Experiments den Transfer zu beeinflussen. Diese Ergebnisse dürfen lediglich als vorsichtiger Hinweis auf Transfer verstanden werden, da auch *Selektion* (Bachleitner, 1985) sowie trainingsbedingte Kraft- oder Beweglichkeitsunterschiede für die querschnittlich gefundenen Unterschiede verantwortlich sein könnten.

2.3.4 *Transferexperimente*

Die größte interne Validität im Hinblick auf den Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben haben Experimente, in denen der Einfluss von Übung in einer Gleichgewichtsaufgabe auf die Veränderung der Leistung bei anderen Gleichgewichtsaufgaben im Vergleich mit einer KG untersucht wird. Dadurch, dass versucht wird mögliche störende Einflüsse auszuschalten, kann eine Veränderung der Leistung in der Transferaufgabe tatsächlich auf die Erfahrung in der Übungsaufgabe zurückgeführt werden (Bortz & Döring, 2006, S. 547-548).

In diesem Kapitel soll ein Überblick über ausgewählte Transferexperimente gegeben werden, in denen Gleichgewichtsaufgaben in mehreren Übungseinheiten geübt wurden und die Leistung in Transfertests überprüft wurde. Dabei werden

auch Experimente berücksichtigt, in denen Übungs- und Transferaufgabe nahezu identisch waren. In einigen der berücksichtigten Studien wurde nicht das Ziel verfolgt, Bedingungen für Transfer zu untersuchen. Vielmehr steht in diesen Untersuchungen der Einfluss von Gleichgewichtsübungen auf die Gleichgewichtsfähigkeit (Kap. 2.3.2) im Vordergrund. Die Einordnung als Transferexperimente ist vom Autor dieser Übersicht vorgenommen worden. Die Orientierung am Training der Gleichgewichtsfähigkeit bringt in diesen Studien Interpretationsschwierigkeiten mit sich. Häufig werden verschiedene Übungsaufgaben während der Intervention ausgeführt, meist mit steigender *Aufgabenschwierigkeit*. In diesen Studien ist es nicht möglich eindeutig zu bestimmen, welche der Übungsaufgaben für den Transfer verantwortlich ist, oder ob möglicherweise erst die Kombination der verschiedenen Aufgaben zu Transfer geführt hat. Untersuchungen, in denen das Üben der Gleichgewichtsaufgaben mit anderen Trainingsinhalten, wie Krafttraining, kombiniert wurde, werden in dieser Übersicht nicht berücksichtigt (z.B. Holm et al., 2004; Kovacs, Birmingham, Forwell & Lichtfield, 2004; Michell et al., 2006). Außerdem werden nur Studien mit jungen, gesunden, erwachsenen Versuchspersonen berücksichtigt. Experimente mit Kindern, Senioren oder verletzten Versuchspersonen könnten durchaus andere Ergebnisse ergeben. Es soll im Rahmen dieser Arbeit aber zunächst darum gehen, die Frage nach Transferabilität bei Gleichgewichtsaufgaben an einer festgelegten Population zu behandeln. Der Gültigkeitsbereich der Befunde soll an anderer Stelle diskutiert werden (vgl. Kap. 5).

Zugunsten einer besseren Übersichtlichkeit werden die einzelnen Experimente nicht in eigenen Abschnitten vorgestellt. Es wird der Versuch unternommen, die Ergebnisse einzelner VGn in einzelnen Transfertests nach Unterschieden zwischen Übungs- und Transferaufgabe zu ordnen und die Ergebnisse der einzelnen Gruppierungen getrennt voneinander zu interpretieren. Folgenden Kategorien wurden die Transferaufgaben zugeordnet:

Kap. 2.3.4.1: Übungs- und Transferaufgabe unterscheiden sich nicht hinsichtlich biomechanischer Bedingungen und der Verfügbarkeit visueller Information.

Kap. 2.3.4.2: Übungs- und Transferaufgabe unterscheiden sich hinsichtlich biomechanischer Bedingungen (Kontralateraler Transfer wird in dieser Kategorie thematisiert).

Kap. 2.3.4.3: Übungs- und Transferaufgabe unterscheiden sich hinsichtlich der Verfügbarkeit visueller Information.

Kombinationen biomechanischer und visueller Unterschiede werden nicht berücksichtigt.

Zur Entscheidung, ob Transfer nachzuweisen ist, wird in den Übersichtstabellen (Tab. 1, Tab. 2, Tab. 3, Tab. 4) jeweils der Interaktionseffekt VG (VG, KG) x MZP (Pretest, Posttest) mit einem Signifikanzniveau von $p < .05$ herangezogen. Bei mehreren Posttests, z.B. direkt im Anschluss an die Intervention, und bei einem späteren Retentionstest, wird der jeweils spätere Messzeitpunkt berücksichtigt. In einer Untersuchung wurde kein Pretest durchgeführt (Balogun, Adesinasi & Marzouk, 1992). In diesem Fall wird der zweistufige Faktor MZP (nach 2 Wochen Training, nach 6 Wochen Training) verwendet. Für die eine Untersuchung ohne KG (Robertson & Elliott, 1996) wurde auf den Mittelwertvergleich (Pretest, Posttest) der jeweiligen VG zurückgegriffen. Da diese beiden Untersuchungen anfällig für störende Einflüsse sind (Bortz & Döring, S. 547), werden ihre Ergebnisse in den Übersichtstabellen in Klammern gesetzt.

2.3.4.1 Naher Transfer

In diesem Kapitel wird ein Überblick über die Leistungsveränderungen bei Gleichgewichtsaufgaben von VGn gegeben, die diese Gleichgewichtsaufgaben während der Intervention übten (Tab. 1).

Tab. 1 Übersicht über Experimente bei denen naher Transfer zwischen Gleichgewichtsaufgaben untersucht wurde.

1. Autorin	Jahr	n	Übungsaufgabe(n)	Transferaufgabe	Abh. Variable	KG	Transfer
Cox	1993	9	Einbeinstand, dominantes Bein, no vision, fester Boden	Einbeinstand, dominantes Bein, no vision, fester Boden	CoP (SD)	Ja	+
France	1992	24	verschiedene Übungen auf der K.A.T. balance platform	Beidbeinstand auf der K.A.T. balance platform	Druck bei dem für 10 s nicht abgebrochen werden musste	Ja	+
Gioftsidou	2006	13	Balance Boards, Biodex Stability System (vor Fußballtraining)	Einbeinstand auf Balance Board (anterior-posterior)	Zeit bis Abbruch	Ja	+
Gioftsidou	2006	13	Balance Boards, Biodex Stability System (vor Fußballtraining)	Einbeinstand auf Balance Board (medial-lateral)	Zeit bis Abbruch	Ja	+
Gioftsidou	2006	13	Balance Boards, Biodex Stability System (vor Fußballtraining)	Einbeinstand auf Balance Board (anterior-posterior/ medial-lateral)	Zeit bis Abbruch	Ja	+
Gioftsidou	2006	13	Balance Boards, Biodex Stability System (vor Fußballtraining)	Biodex Stability System	AM Abweichung von der Horizontalen	ja	+
Gioftsidou	2006	13	Balance Boards, Biodex Stability System (nach Fußballtraining)	Einbeinstand auf Balance Board (anterior-posterior)	Zeit bis Abbruch	ja	+
Gioftsidou	2006	13	Balance Boards, Biodex Stability System (nach Fußballtraining)	Einbeinstand auf Balance Board (medial-lateral)	Zeit bis Abbruch	ja	+
Gioftsidou	2006	13	Balance Boards, Biodex Stability System (nach Fußballtraining)	Einbeinstand auf Balance Board (anterior-posterior/ medial-lateral)	Zeit bis Abbruch	ja	+
Gioftsidou	2006	13	Balance Boards, Biodex Stability System (nach Fußballtraining)	Biodex Stability System	AM Abweichung von der Horizontalen	Ja	+
Gioftsidou	2006	13	Balance Boards, Biodex Stability System (nach Fußballtraining)	Biodex Stability System	AM Abweichung von der Horizontalen	Ja	+
Olivier	2000	12	Fahrrad, Rennlenker	Fahrrad, Rennlenker	F _x	Ja	+
Olivier	2000	12	Fahrrad, Triathlonlenker	Fahrrad, Triathlonlenker	F _x	Ja	+
Olivier	2000	12	Fahrrad, stehend	Fahrrad, stehend	F _x	Ja	+
Olivier	2000	12	Beidbeinstand	Beidbeinstand	F _x , F _y , F _z	Ja	-

Robertson	1996	10	Schwebebalken überqueren, vision	Schwebebalken überqueren, vision	Dauer	nein	(+)
Robertson	1996	10	Schwebebalken überqueren, vision	Schwebebalken überqueren, vision	Anzahl Schritte	nein	(+)
Robertson	1996	10	Schwebebalken überqueren, vision	Schwebebalken überqueren, vision	Anzahl Formfehler	nein	(-)
Robertson	1996	10	Schwebebalken überqueren, no vision	Schwebebalken überqueren, no vision	Dauer	nein	(+)
Robertson	1996	10	Schwebebalken überqueren, no vision	Schwebebalken überqueren, no vision	Anzahl Schritte	nein	(+)
Robertson	1996	10	Schwebebalken überqueren, no vision	Schwebebalken überqueren, no vision	Anzahl Formfehler	nein	(+)
Rothermel	2004	16	Einbeinstand, Variation: Armhaltung, Untergrund, vision	Einbeinstand, vision	CoP Geschwindigkeit	Ja	+
Rothermel	2004	16	Einbeinstand, Variation: Armhaltung, Untergrund, vision	Einbeinstand, no vision	CoP Geschwindigkeit	Ja	+
Rothermel	2004	14	Einbeinstand (angehobenes Längsgewölbe), Variation: Armhaltung, Untergrund, vision	Einbeinstand, vision	CoP Geschwindigkeit	Ja	-
Rothermel	2004	14	Einbeinstand (angehobenes Längsgewölbe), Variation: Armhaltung, Untergrund, vision	Einbeinstand, no vision	CoP Geschwindigkeit	Ja	-
Yaggie	2006	17	Verschiedene Übungen auf einem BOSU-Ball	Stand auf dem BOSU-Ball mit geschlossenen Augen	Zeit bis Abbruch (s)	Ja	+

Es zeigten sich in den berücksichtigten Experimenten fast durchgängig größere Verbesserungen der VGn im Vergleich zu den KGn (Robertson & Elliott, 1996, ohne KG). Auf die Ausnahmen (in Tab. 1 mit einem „-“ gekennzeichnet) wird im Folgenden eingegangen.

Rothermel, Hale, Hertel & Denegar (2004) ließen Variationen des Einbeinstands (unterschiedliche Armhaltung, Untergründe, visuelle Bedingungen) üben. Die Transferaufgaben waren der Einbeinstand mit geöffneten Augen und der Einbeinstand mit geschlossenen Augen. Eine der VGn sollte während der Übungsphase versuchen, das Fußlängsgewölbe anzuheben. Möglicherweise haben die VPn die Fußhaltung der Übungsphase im Posttest übernommen, wodurch sich die Fußpositionen zwischen Vor- und Posttest unterscheiden. Es ist davon auszugehen, dass die instruierte Fußposition zu größeren Schwan-

kungen des Kraftangriffspunkts führte. Dass diese VG in den Transfertests keine Verbesserung gegenüber der KG zeigte, könnte demnach durch eine veränderte Aufgabeninterpretation (vgl. Kap. 2.1.2) erklärt werden.

Olivier, Daus, Augste und Panzer (2000, S. 203) wiesen auf die Möglichkeit eines Deckeneffekts (Bortz & Döring, 2006, S. 558) als Erklärung für das Ausbleiben von Verbesserungen des Beidbeinstands hin. Das beidbeinige, ruhige Stehen könnte bereits vor der Trainingsintervention so gut geübt sein, dass keine weitere Leistungssteigerung durch die Intervention möglich war.

Ähnlich erklärten auch Robertson und Elliott (1996) das Ausbleiben von Verbesserungen beim Überqueren eines Schwebebalkens mit visueller Kontrolle (S. 74).

Insgesamt ist die Befundlage, trotz der wenigen Ausnahmen, eindeutig und zeigt, dass die Leistung bei unterschiedlichen Gleichgewichtsaufgaben auf verschiedenen Geräten durch spezifisches Üben verbessert werden kann.

2.3.4.2 Transfer bei biomechanischen Unterschieden zwischen den Aufgaben

In diesem Kapitel wird ein Überblick über ausgewählte Experimente gegeben, in denen Leistungen bei Gleichgewichtsaufgaben erhoben wurden, die nicht in der Trainingsintervention geübt wurden, sich aber anhand der zur Verfügung stehenden sensorischen Information nicht unterscheiden (Tab. 2). Dazu werden auch Gleichgewichtsaufgaben gezählt, bei denen sich die Seite der eingesetzten Extremität zwischen Übungs- und Transferaufgabe unterscheiden (Tab. 3).

Tab. 2 Übersicht über Transferexperimente, in denen sich Übungs- und Transferaufgabe hinsichtlich biomechanischer Merkmale unterscheiden.

1. Autorin	Jahr	N	Übungsaufgabe(n)	Transferaufgabe	Abh. Variable	KG	Transfer
Balogun	1992	16	Wobble Board	Einbeinstand, vision	Zeit bis Abbruch	+	(+)
Cox	1993	9	Einbeinstand, dominantes Bein, no vision, Schaumstoffkissen	Einbeinstand, dominantes Bein, no vision, fester Boden	CoP (SD)	+	-
Granacher	2010	13	Slackline-Training	Einbeinstand	Schwankungsweg des CoP (cm)	+	-
Granacher	2010	13	Slackline-Training	Einbeinstand nach Auslenkung der Standfläche	Schwankungsweg des CoP (cm)	+	-
Hoffman	1995	14	Biomechanical Ankle Platform System	Einbeinstand	CoPap (SD)	+	+
Hoffman	1995	14	Biomechanical Ankle Platform System	Einbeinstand	CoPml (SD)	+	+
Olivier	2000	12	Fahrrad, Rennlenker	Fahrrad, Triathlonlenker	Fx	+	+
Olivier	2000	12	Fahrrad, Rennlenker	Fahrrad, stehend	Fx	+	-
Olivier	2000	12	Fahrrad, Rennlenker	Beidbeinstand	Fx, Fy, Fz	+	-
Olivier	2000	12	Fahrrad, Triathlonlenker	Fahrrad, Rennlenker	Fx	+	+
Olivier	2000	12	Fahrrad, Triathlonlenker	Fahrrad, stehend	Fx	+	+
Olivier	2000	12	Fahrrad, Triathlonlenker	Beidbeinstand	Fx, Fy, Fz	+	-
Olivier	2000	12	Fahrrad, stehend	Fahrrad, Rennlenker	Fx	+	-
Olivier	2000	12	Fahrrad, stehend	Fahrrad, Triathlonlenker	Fx	+	+
Olivier	2000	12	Fahrrad, stehend	Beidbeinstand	Fx, Fy, Fz	+	-
Olivier	2000	12	Beidbeinstand	Fahrrad, Rennlenker	Fx	+	-
Olivier	2000	12	Beidbeinstand	Fahrrad, Triathlonlenker	Fx	+	-
Olivier	2000	12	Beidbeinstand	Fahrrad, stehend	Fx	+	-
Rasool	2007	15	Einbeinstand, Variationen: Untergrund, vision, Rumpfdrehungen	Star Excursion Balance Test	Reichweite (cm)	+	+
Wünnemann	2008	12	Badminton Schlagtechniken auf instabilen Untergründen	Stabilometer	RMSE Abweichung von der Horizontalen	+	-
Wünnemann	2008	12	Badminton Schlagtechniken auf instabilen Untergründen	Wobble Board (ml)	CoPap (SD)	+	+

Wünnemann	2008	12	Badminton Schlagtechniken auf instabilen Untergründen	Wobble Board (ml)	CoPml (SD)	+	-
Wünnemann	2008	12	Badminton Schlagtechniken auf instabilen Untergründen	Trap Doop Plattform	Inversionswinkel im Sprunggelenk	+	-
Yaggie	2006	17	Verschiedene Übungen auf einem BOSU-Ball	Einbeinstand	Schwankungsweg des CoP (cm)	+	+
Yaggie	2006	17	Verschiedene Übungen auf einem BOSU-Ball	Vorwärtslehnen	Veränderung CoP (cm)	+	-

Ein Test des Experiments von Balogun, Adesinasi & Marzouk (1992) kann der Kategorie dieses Kapitels zugeordnet werden. Die Autoren verglichen eine Studierendengruppe, die über sechs Wochen dreimal wöchentlich 10-25 Minuten übten auf einem Wackelbrett zu balancieren, mit einer KG. Sie fanden zwischen der zweiten und der sechsten Woche deutliche Verbesserungen in der Interventionsgruppe, wohingegen die KG auf dem Ausgangsniveau blieb. Dementsprechend wird der Interaktionseffekt MZP x VG signifikant, $p < .001$. Da in dieser Untersuchung kein Pretest durchgeführt wurde und das Wackelbretttraining der ersten beiden Wochen Einfluss auf den Test nach der zweiten Woche hatte, wird dieser positive Transferbefund in der Übersichtstabelle (Tab. 2) in Klammern gesetzt. Dass sich die VGn nach zwei Wochen noch nicht unterschieden, in den weiteren Wochen aber starke Leistungszuwächse in der Trainingsgruppe zu beobachten waren, lässt an der Qualität der Studie zweifeln.

Eine VG von Cox, Lephart & Irrgang (1993) übte 4 Wochen lang, dreimal wöchentlich 5 Minuten, einbeinig mit geschlossenen Augen auf einem Schaumstoffkissen zu stehen. Bei dem Transfertest mussten sie möglichst ruhig im Einbeinstand auf festem Untergrund stehen. Dabei konnten sie die Standardabweichung um die mittlere Position des Kraftangriffspunkts (CoP) im Vergleich zum Pretest nicht reduzieren.

Granacher, Iten, Roth & Gollhofer (2010) ließen ihre VPn über 4 Wochen, dreimal wöchentlich 45 Minuten, verschiedene Aufgaben auf einer Slackline absolvieren. Diese VG konnte weder beim Einbeinstand auf festem Boden noch beim Einbeinstand nach Auslenkung der Standplattform den Schwankungsweg des CoPs im Vergleich zu einer KG reduzieren.

In der Untersuchung von Hoffman & Payne (1995) übten VPn in 30 zehnminütigen Trainingseinheiten in 10 Wochen verschiedene Aufgaben mit steigender *Schwierigkeit* auf einem Therapiekreisel (Biomechanical Ankle Platform System, BAPS). Die VG konnte die horizontalen Bodenreaktionskräfte beim Einbeinstand sowohl in der x-Achse als auch in der y-Achse stärker reduzieren als die KG. Man könnte dieses Ergebnis als positiven Transfer interpretieren.

Olivier et al. (2000) ließen drei VGn üben, in einer jeweils unterschiedlichen Haltung auf einer Fahrradrolle zu fahren (*Rennlenker*, *Triathlonlenker*, in den Pedalen *Stehend*). Eine weitere VG übte den ruhigen, beidbeinigen Stand. Vor und nach dem Training wurden alle VGn und eine KG in allen vier Aufgaben getestet. Bis auf die Gruppe, die übte ruhig zu stehen, konnten sich alle VGn in der jeweils geübten Aufgabe verbessern (Kap. 2.3.4.1). Keine der Radfahrgruppen konnte durch das Training die Schwankungen im Zweibeinstand reduzieren, was allerdings aufgrund eines möglichen Deckeneffekts nicht als ausbleibender Transfer interpretiert werden darf (S. 203). Zwischen den verschiedenen Aufgaben auf dem Fahrrad scheint es hingegen zu Transfer zu kommen. Lediglich die Gruppen *Rennlenker* und *Stehend* unterscheiden sich in den jeweils geübten Aufgaben voneinander. Diese Befunde aufgrund der biomechanischen Unterschiede und dadurch bedingte andere beteiligte posturale Synergien zu interpretieren fällt schwer. Das Ausbleiben von Transfer zwischen den Aufgaben *Rennlenker* und *Stehend* sowie der Transfer zwischen *Rennlenker* und *Triathlonlenker* könnte tatsächlich durch unterschiedliche bzw. gleiche an den Aufgaben beteiligten posturalen Synergien erklärt werden. Dagegen sprechen allerdings die divergenten Befunde zum Transfer der beiden Aufgaben im Sitzen auf die Aufgabe *Stehend*.

In der Untersuchung von Rasool und George (2007) übte eine VG vier Wochen lang, fünfmal die Woche, verschiedene Aufgaben im Einbeinstand, die durch veränderten Untergrund, die Verfügbarkeit visueller Information und zusätzliche Rotationsbewegungen des Rumpfes während der Intervention variiert wurden. Diese VG konnte sich beim *Star Excursion Balance Test* stärker verbessern als die KG.

Wünnemann, Wilbert und Olivier (2008) untersuchten, ob sich das Üben von Badminton-Schlagtechniken (12 Trainingseinheiten in 6 Wochen) auf verschiedenen Untergründen (Weichboden, Wackelbrett (Abb. 22), Ballooning-Ball, Therapiekreisel) im Vergleich zum Badminton-Schlagtechniktraining auf festem Untergrund, positiv auf eine Stabilometeraufgabe (vgl. Kap. 3.1.2), eine Wackelbrettaufgabe und auf kinematische Parameter bei Landungen auf einer Inversions-„Trap-Door-Plattform“ (Abb. 22) auswirkt. Für keinen der erhobenen kinematischen Parameter, die bei Niedersprüngen auf die „Trap-Door-Plattform“ erhoben wurden, konnten unterschiedliche Veränderungen vom Pretest zum Posttest nachgewiesen werden. Bei der Stabilometeraufgabe verbesserten sich beide VGn gleichermaßen, was die Autoren mit einem Pretesteffekt (Bortz & Döring, S. 539) erklärten. Genauso können die Reduktionen der Schwankungen in ml-Richtung bei der Aufgabe, ruhig auf dem Wackelbrett zu stehen, gedeutet werden. Der einzige signifikante Interaktionseffekt (Messzeitpunkt x VG) dieser Untersuchung bezieht sich auf die Schwankungen auf dem Wackelbrett in anterior-posterior-Richtung. Möglicherweise hat das Ausführen des Pushs auf diesem Wackelbrett während der Übungsphase dazu geführt, dass die VPn dieser Gruppe gelernt haben, Verlagerungen des KSPs in anterior-posterior besser zu kontrollieren.

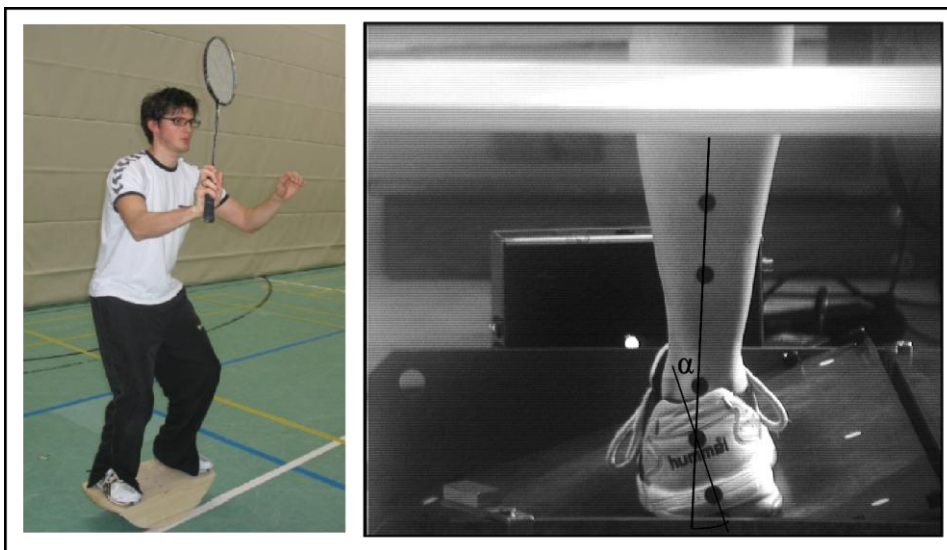


Abb. 22 Beispiel für eine Badminton-Schlagtechnik-Übung auf instabilem Untergrund (Push auf einem Wackelbrett) und High-Speed-Videoaufnahme einer Landung auf die „Trap-Door-Plattform“ mit eingezeichnetem Inversionswinkel (α).

Eine VG in der Untersuchung von Yaggie und Campbell (2006) führte während einer vierwöchigen Intervention dreimal wöchentlich verschiedene Übungen auf einem BOSU (Both Sides Up)-Ball durch. Diese Interventionsgruppe reduzierte die Schwankungen im Einbeinstand im Vergleich zu einer KG, konnte sich aber nicht weiter nach vorn lehnen.

Einige der in diesem Kapitel genannten Experimente untersuchten auch, wie sich das Üben einer Aufgabe auf einem Bein auf die Leistung bei Aufgaben auswirkt, die auf dem jeweils anderen Bein ausgeführt wurden. Dabei zeigte sich kein einheitliches Bild (Tab. 3). Bei Rasool und George verbesserte sich die VG auch bei dem *Star Excursion Balance Test* mit dem jeweils anderen Bein. Während sich bei Cox et al. (1993) und Rothermel et al. (2004) die VGn, die den Einbeinstand mit geschlossenen Augen übten, die Schwankungen beim Einbeinstand auf dem nicht trainierten Bein mit geschlossenen Augen nicht verbessern konnten, gelang dieses der VG mit geöffneten Augen (Rothermel et al., 2004). Diese Ergebnisse als Hinweis zu deuten, dass kontralateraler Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben von der Verfügbarkeit visueller Information abhängt, ist allerdings verfrüht. Es fehlen weitere Befunde, die diese Hypothese stützen könnten. Die Ergebnisse der beiden VGn, die mit angehobenem Fußgewölbe übten, sind nur schwer zu interpretieren, da auch die Leistungen mit der jeweils geübten Seite sich nicht verbesserten (vgl. Kap. 2.3.4.1).

Tab. 3 Übersicht über Transferexperimente, die kontralateralen Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben untersuchten.

1. Autorin	Jahr	N	Übungsaufgabe(n)	Transferaufgabe	Abh. Variable	KG	Transfer
Cox	1993	9	Einbeinstand, no vision, fester Boden	Einbeinstand, no vision, fester Boden, nicht trainiertes Bein	CoP (SD)	+	-
Rasool	2007	15	Einbeinstand, Variationen: Untergrund, vision, Rumpfdrehungen	Star Excursion Balance Test, Untrained Leg	Reichweite (cm)	+	+
Rothermel	2004	16	Einbeinstand, Variation: Armhaltung, Untergrund, vision	Einbeinstand, vision, nicht trainiertes Bein	CoP Geschwindigkeit	+	+
Rothermel	2004	16	Einbeinstand, Variation: Armhaltung, Untergrund, vision	Einbeinstand, no vision, nicht trainiertes Bein	CoP Geschwindigkeit	+	-
Rothermel	2004	14	Einbeinstand (angehobenes Längsgewölbe), Variation: Armhaltung, Untergrund, vision	Einbeinstand, vision, nicht trainiertes Bein	CoP Geschwindigkeit	+	-
Rothermel	2004	14	Einbeinstand (angehobenes Längsgewölbe), Variation: Armhaltung, Untergrund, vision	Einbeinstand, no vision, nicht trainiertes Bein	CoP Geschwindigkeit	+	-

Aus den vorliegenden Befunden zum Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben, die sich aufgrund biomechanischer Bedingungen unterscheiden, kann man noch keine eindeutigen Schlussfolgerungen ziehen. Teilweise erscheinen die Transferaufgaben nicht gut geeignet, weil sie auch durch spezifisches Üben nicht verbessert wurden und deshalb Decken- oder Bodeneffekte vermutet werden können (Olivier et al., 2000; Wünnemann et al., 2008). Bei anderen Aufgaben findet man starke Pretesteffekte (Wünnemann et al., 2008).

Es bleiben einige positive Transferbefunde von verschiedenen Übungen auf instabilen Untergründen auf die Schwankungen im Einbeinstand (Balogun et al., 1992; Cox et al., 1993; Hoffman & Payne, 1995; Yaggie & Campbell, 2006). Demgegenüber stehen die Ergebnisse zum Ausbleibenden Transfer von Aufgaben auf einer Slackline auf den Einbeinstand (Granacher et al., 2010). Ein Versuch, diese Unterschiede zu deuten, muss mit den biomechanischen Gegebenheiten der verschiedenen Standuntergründe beginnen, um daraus ableiten zu können, ob die gleichen oder andere posturale Synergien an der Gleichge-

wichtsregulation beteiligt sind. Balogun et al. (1992) machen leider keine Angaben zu Radius und Höhe des eingesetzten Wackelbretts. So kann nicht nachvollzogen werden, ob die gleichen posturalen Synergien eingesetzt worden sein könnten wie im Einbeinstand (vgl. Ivanenko et al., 2007, Kap. 2.2.4.3). Cox et al. (1993) nutzten ein Schaumstoff-Kissen mittlerer Härte. Bei diesem Trainingsgerät ist davon auszugehen, dass ein Vorwärtsschwanken um die Sprunggelenke mit einer Kontraktion der plantarflexierenden Muskulatur (*gastrocnemius*, *soleus*) beantwortet wird. Das entspricht der Sprunggelenkssynergie im aufrechten Stand. Hoffman & Payne (1995) verwendeten einen Therapiekreisel (BAPS), bei dem Halbkugeln mit fünf verschiedenen Radien unter eine Standplattform mit relativ größerem Durchmesser geschraubt werden können. Obwohl die Höhe des Therapiekreisels dadurch immer etwas größer ist als der Radius der unterstützenden Kugel, wird wahrscheinlich, besonders von Ungeübten, trotzdem auf eine Vorwärtsrotation des Therapiekreisels mit einer Kontraktion der plantarflexierenden Muskulatur geantwortet, weil die Standplattform schon bei relativ kleinen Auslenkungen mit der Kante den Fußboden berührt. Auch das Stehen auf einer der Seiten des BOSU-Balls in dem Experiment von Yaggie & Campbell (2006) wird wahrscheinlich durch Kontraktionen der jeweils gedehnten Muskulatur beantwortet. Die Regulation des Gleichgewichts auf einer Slackline (Granacher et al., 2010) unterscheidet sich von diesen Aufgaben deutlich. Beim Slacklining muss der Balancierende versuchen das Seil unter den KSP zu bewegen. Das wird kaum durch Drehmomente im Sprunggelenk gelöst werden, sondern vor allem durch Drehmomente im Hüftgelenk. Man kann vermuten, dass bei den Übungsaufgaben in diesem Experiment andere posturale Synergien eingesetzt worden sind als in der Transferaufgabe *Einbeinstand*. Diese Interpretationen hinsichtlich der Art und Bedeutung der beteiligten posturalen Synergien beruhen allerdings lediglich auf eigener Einschätzung und können nicht anhand von EMG-Daten belegt werden.

Insgesamt widersprechen die vorliegenden Befunde zum Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben nicht der Hypothese, dass Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben u.a. von der von der Art und Bedeutung der beteiligten posturalen Reak-

tion und Antizipation abhängig ist (Olivier, 1997). Um diese Hypothese zu prüfen, bedarf es allerdings weiterer Transferexperimente.

2.3.4.3 Transfer auf veränderte visuelle Bedingungen

Weiterhin vermutet Olivier (1997), dass die Transferabilität bei Gleichgewichtsaufgaben von der Art und der Bedeutung der beteiligten sensorischen Teilsysteme abhängig ist. In diesem Kapitel werden zwei Transferexperimente vorgestellt, bei denen die Verfügbarkeit visueller Information zwischen Übungs- und Transferaufgabe verändert wurde, andere Aufgabenmerkmale aber konstant gehalten wurden.

Tab. 4 Übersicht über Transferexperimente in denen sich die Übungs- und die Transferaufgabe hinsichtlich der Verfügbarkeit visueller Information unterscheiden.

1. Autorin	Jahr	N	Übungsaufgabe(n)	Transferaufgabe	Abh. Variable	KG	Transfer
Cox	1993	9	Einbeinstand, no vision, fester Boden	Einbeinstand, vision, fester Boden	CoP (SD)	+	-
Robertson	1996	10	Schwebebalken überqueren, vision	Schwebebalken überqueren, no vision	Dauer	-	(+)
Robertson	1996	10	Schwebebalken überqueren, vision	Schwebebalken überqueren, no vision	Anzahl Schritte	-	(+)
Robertson	1996	10	Schwebebalken überqueren, vision	Schwebebalken überqueren, no vision	Anzahl Formfehler	-	(+)
Robertson	1996	10	Schwebebalken überqueren, no vision	Schwebebalken überqueren, vision	Dauer	-	(+)
Robertson	1996	10	Schwebebalken überqueren, no vision	Schwebebalken überqueren, vision	Anzahl Schritte	-	(+)

Ein Blick auf die Übersichtstabelle (Tab. 4) vermittelt den Eindruck, dass Transfer auf veränderte visuelle Bedingungen durchaus möglich erscheint. Die Studie von Robertson und Elliott (1996) hatte allerdings keine KG. Ein Vergleich der Pretest- und Posttestergebnisse innerhalb der VGn birgt das Risiko, dass Ver-

besserungen aufgrund der wiederholten Testdurchführung (Pretesteffekte, Bortz & Döring, 2006, S. 539) als Transfer interpretiert werden. Die Autoren legten selbst größeren Wert auf einen Vergleich zwischen den beiden VGn (Übung mit visueller Kontrolle, Übung ohne visuelle Kontrolle). Dabei zeigte sich, dass jeweils die VG, die unter den Testbedingungen geübt hat, größere Leistungsverbesserungen erreicht. Dieses Ergebnis interpretierten die Autoren als Bestätigung einer abgeschwächten Spezifitätshypothese von Proteau (1992, Kap. 2.1.4.2), da kein negativer Transfer in Tests mit veränderten visuellen Bedingungen nachweisbar war, sondern sich lediglich größere Vorteile für die spezifisch übende VG ergeben hatten.

Auch die Ergebnisse von Cox et al. (1993) deuten auf eine eingeschränkte Transferabilität hin, wenn sich die Verfügbarkeit visueller Information zwischen Übungs- und Transferaufgabe unterscheidet. Die Autoren konnten keine Reduktion der Schwankungen des Kraftangriffspunkts beim Einbeinstand mit geöffneten Augen durch Üben des Einbeinstands mit geschlossenen Augen nachweisen.

Demnach scheint auch die Hypothese, dass die Transferabilität bei Gleichgewichtsaufgaben von der Art und Bedeutung der beteiligten sensorischen Teilsysteme abhängt (Olivier, 1997), nicht durch vorliegende Befunde widerlegt zu werden. Die geringe Zahl der behandelten Experimente erlaubt allerdings noch keine verlässliche Bestätigung. Weitere Transferexperimente, die die Verfügbarkeit sensorischer Information zwischen Übungs- und Transferaufgabe variieren, sind notwendig.

2.4 Herleitung allgemeiner Forschungshypothesen

Auf Grundlage der hohen Fertigkeitsspezifität der Kontrolle des motorischen Gleichgewichts (vgl. Kap. 2.2.4) leitet Olivier (1997) deduktiv ab, dass die Transferabilität des motorischen Gleichgewichts „insbesondere von der Art und Bedeutung beteiligter sensorischer Teilsysteme sowie von der Art und Bedeutung der beteiligten posturalen Reaktion und Antizipation abhängen“ sollte (S. 74). Diese Annahme steht nicht im Widerspruch zu den vorliegenden Befunden verschiedener experimenteller Paradigmen (Kap. 2.3). Allerdings sind bislang

kaum Versuche unternommen worden, diese Hypothese zu prüfen (Olivier et al., 2000). Ein solcher Versuch soll in dieser Arbeit unternommen werden. Folgende allgemeine Forschungshypothesen sollen überprüft werden:

FH 1: Art und Bedeutung der beteiligten posturalen Synergien stellen eine wichtige Bedingung für den Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben dar.

FH 2: Art und Bedeutung der beteiligten sensorischen Teilsysteme stellen eine wichtige Bedingung für den Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben dar.

Diese Hypothesen sollen im empirischen Teil dieser Arbeit zunächst an der eingeschränkten Population junger, gesunder, sportlich aktiver Erwachsener überprüft werden. Diese Einschränkung der Population erhöht die interne Validität des Experiments auf Kosten der externen Validität (Bortz & Döring, 2006, S. 503-504). Inwieweit die Ergebnisse auf andere Populationen übertragbar sind, müsste in nachfolgenden Experimenten geklärt werden (vgl. Kap. 5).

Nach diesen Hypothesen ist davon auszugehen, dass Vorhersagen über Transfer nicht allein auf Grundlage von Gemeinsamkeiten und Unterschieden des *stimulus complex* und des *set of instructions* (Kap. 2.1.2) zwischen Transfer- und Übungsaufgabe abzuleiten sind. Die Hypothesen verweisen vielmehr darauf, dass das individuelle Verhalten beim Lösen der Aufgabe entscheidend dafür ist, ob Transfer stattfindet. Gleichgewichtsaufgaben können bezüglich der Art und Bedeutung der beteiligten posturalen Synergien und der beteiligten sensorischen Teilsysteme unterschiedlich gelöst werden. Möchte man diese Hypothesen an Aufgaben untersuchen, die für alle VPn gleich gestellt werden, müssen die Aufgaben so gewählt sein, dass davon auszugehen ist, dass die beteiligten posturalen Synergien und die beteiligten sensorischen Teilsysteme von gleicher Art und Bedeutung für alle VPn sind.

3 Experiment 1

3.1 Methode Experiment 1

In diesem Kapitel werden die eingesetzten Methoden und das Untersuchungsdesign des Experiments 1 vorgestellt. Zunächst werden die Stichprobe, die Übungs- und Transferaufgaben, die verwendete Messtechnik und die abhängigen Variablen beschrieben. Danach wird das Untersuchungsdesign mit Vor- und Posttest, den untersuchten VGn, der Parallelisierung der VGn und der Gestaltung der Interventionen näher erläutert.

3.1.1 Stichprobe

Insgesamt nahmen 76 Versuchspersonen (VPn) an Experiment 1 teil. Zu Beginn wurden die Versuchspersonen über den Ablauf und den Zweck des Experiments unterrichtet. Danach unterzeichneten die VPn eine Einverständniserklärung, in der sie bestätigten, dass sie freiwillig teilnehmen und jederzeit ohne Angabe von Gründen das Experiment abbrechen können, ohne dass ihnen dadurch Nachteile entstehen (Anhang). Zusätzlich wurde mit Hilfe eines Fragebogens (Anhang) ausgeschlossen, dass die VPn gesundheitlich beeinträchtigt waren oder umfangreiche Erfahrungen in Sportarten hatten, die möglicherweise einen Transfer auf die Stabilometeraufgaben bewirken, wie z.B. Surfen oder Skateboardfahren. Außerdem wurden keine VPn rekrutiert, die regelmäßig ein Gleichgewichtstraining durchführen oder bereits an einem Experiment mit Stabilometeraufgaben teilgenommen haben. Durch den Ausschluss dieser VPn sollte gewährleistet werden, dass alle VPn als Novizen in den Stabilometeraufgaben einzuordnen sind. Zwei VPn brachen das Experiment ohne Angabe von Gründen nach dem Pretest ab. Eine VPn verletzte sich während des Untersuchungszeitraums in der Freizeit und konnte deshalb die Untersuchung nicht abschließen. Eine VPn musste aufgrund von Messfehlern, die während des Pretests auftraten, ausgeschlossen werden. Da die VPn, die ohne Angabe von Gründen die Untersuchung abgebrochen haben oder aufgrund von Messfehlern ausgeschlossen wurden, noch nicht den VGn zugeordnet waren und die Verlet-

zung der einen VPn in keinem nachvollziehbaren Zusammenhang mit der Intervention steht, kann davon ausgegangen werden, dass die experimentelle Mortalität (Bortz & Döring, 2006, S. 503) nicht zu einer Einschränkung der internen Validität führt. So konnten die Ergebnisse von insgesamt 72 VPn für dieses Experiment ausgewertet werden. Von den 72 VPn sind 17 weiblich und 55 männlich. Das Durchschnittsalter beträgt 25,2 Jahre (SD: 4,4 Jahre).

3.1.2 *Die verwendeten Stabilometer*

Die Übungs- und Transferaufgaben der vorliegenden Untersuchung wurden auf zwei verschiedenen Stabilometern durchgeführt. Es wurde ein Stabilometer mit zwei beweglichen Achsen (Stabilometer I, Abb. 23, Abb. 24) und ein Stabilometer mit einer Achse (Stabilometer II, Abb. 25) verwendet.

Die beiden Achsen von Stabilometer I stehen orthogonal zueinander. Sie befinden sich 7 cm oberhalb der Standfläche. Dadurch befindet sich das Stabilometer in der horizontalen Position in einem stabilen Gleichgewichtszustand (Kap. 2.2.1). Die Rotation der Achsen ist in allen Drehrichtungen durch Anschläge auf 10° Abweichung von der Horizontalen begrenzt. Es ist möglich die Achsen unabhängig voneinander festzustellen, sodass nur noch Bewegungen in einer der beiden Achsen auftreten können. Zusätzlich besteht optional die Möglichkeit einer Stabilisierung durch Zugfedern, die mittig an den Kanten der 90 cm X 40 cm großen Standfläche angebracht werden können. Bei Auslenkungen der Standplattform ändern sich die Längen der gegenüberliegenden Federn invers, sodass größere Drehmomente nötig sind, um die Standfläche des Stabilometers von der horizontalen Position zu entfernen. Werden Federn mit größerer Federkonstante eingesetzt verstärkt sich dieser Effekt. In diesem Experiment wurden Federn mit Federkonstanten von 0,12 N/mm und 0,21 N/mm (Lothar Müller Federn, Münsingen) eingesetzt.

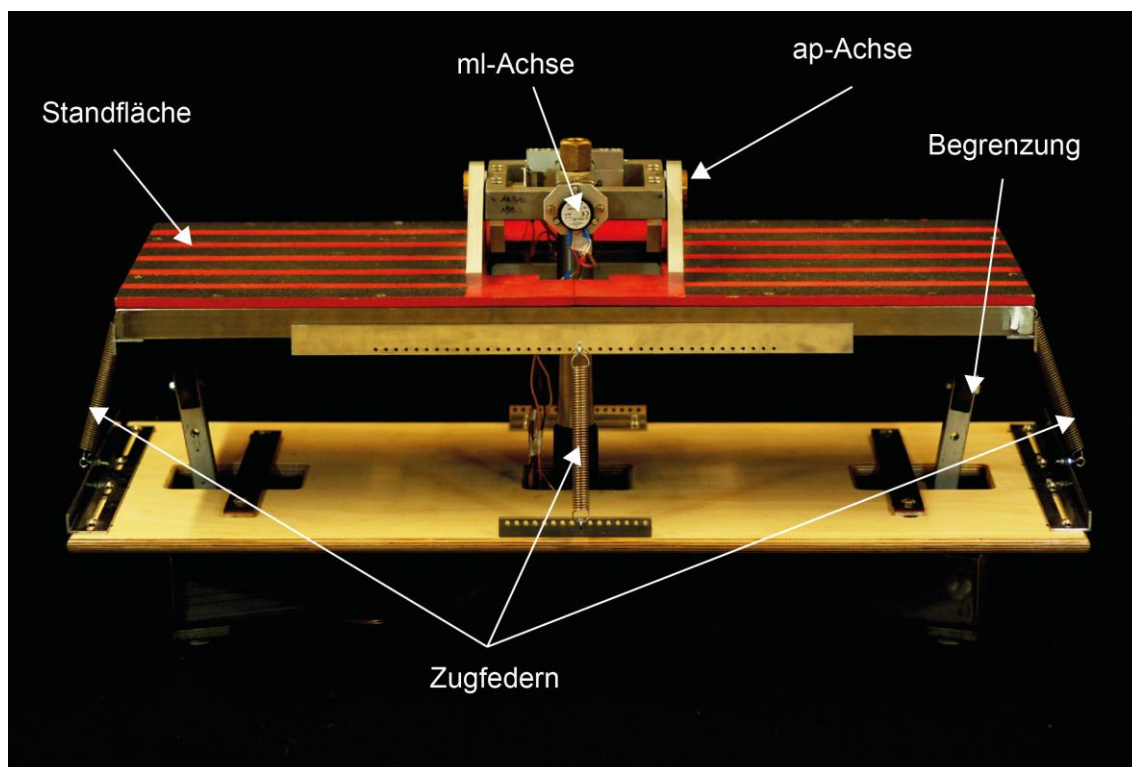


Abb. 23 Stabilometer I in horizontaler Position, mit eingehängten Zugfedern (NZ-8618) und Anschlägen.

Die Federkonstante wurde vor und nach dem Experiment mit Hilfe einer Kraftmessplatte (Kistler Typ 9865B, Winterthur) überprüft. Dabei wurde festgestellt, dass sich die Federkonstante im Laufe des Experiments kaum verändert hat (Anhang). In der vorgegebenen Standposition steht eine VPn mit den Füßen auf beiden Seiten der Achse, die parallel zu der kürzeren Kante der Standfläche verläuft. Nach einer Rotation um diese Achse befindet sich der KSP weiter seitlich, vorausgesetzt die VPn macht keine Ausgleichsbewegung. Deshalb wird diese Achse im Folgenden medial-lateral-Achse (ml-Achse) genannt. Die Achse, die parallel zu der längeren Kante der Standfläche verläuft wird dementsprechend als anterior-posterior-Achse (ap-Achse) bezeichnet.

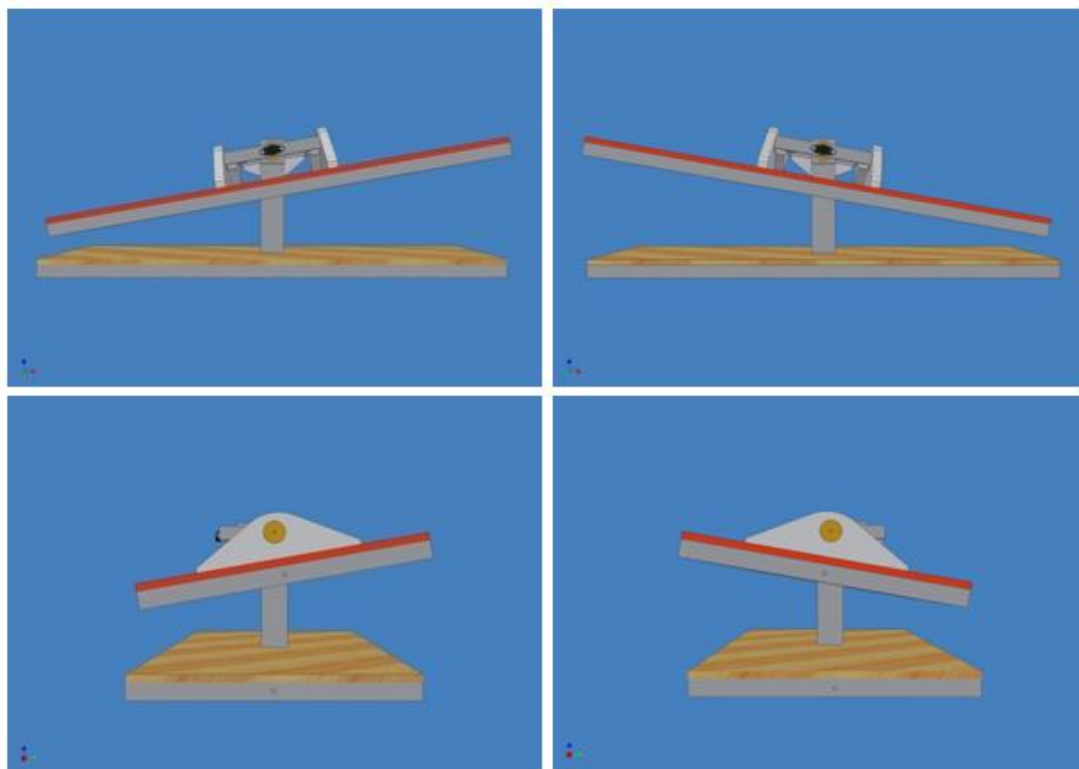


Abb. 24 CAD-Abbildung von Stabilometer I, mit maximaler Rotation in der ml-Achse (oben) und der ap-Achse (unten), eingehängte Federn und Anschläge nicht eingezeichnet.

Das Stabilometer II verfügt lediglich über eine Achse, die in diesem Experiment als ml-Achse genutzt wurde. Diese ist 27 cm oberhalb der 106 cm x 95,5 cm großen Standfläche angebracht. Auch das Stabilometer II befindet sich in der horizontalen Position in einem stabilen Gleichgewicht. Die Rotation ist hier auf 20° von der Horizontalen in beide Richtungen begrenzt. Zusätzliche Stabilisierungsmöglichkeiten sind bei Stabilometer II nicht gegeben.

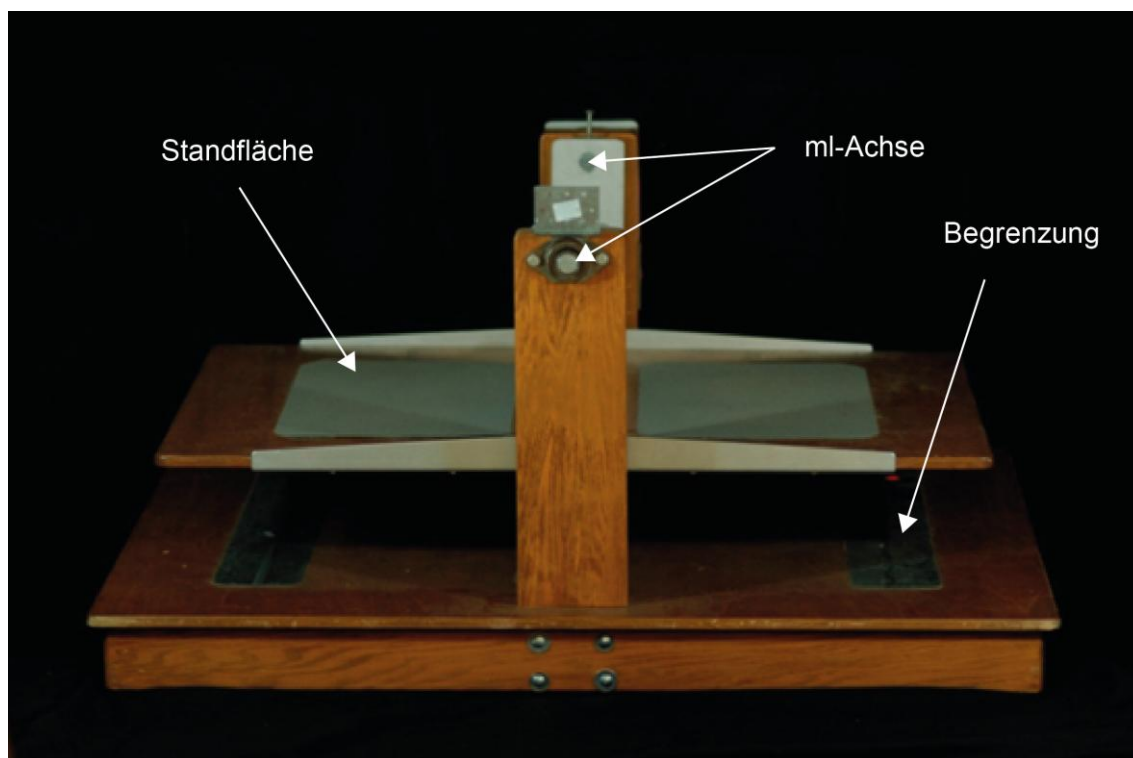


Abb. 25 Stabilometer II in horizontaler Position.

Beide Stabilometer wurden mit einem Abstand von ca. 15 cm vor einer Wand aufgestellt, sodass es den VPn möglich war mit den Händen an die Wand zu greifen und sich dort abzustützen, falls ein Sturz vom Stabilometer drohte. Um mögliche Stürze nach hinten auffangen zu können stand der Versuchsleiter während der Aufgabenbewältigung hinter den VPn. An der Wand waren etwa auf Augenhöhe kreisförmige Aufkleber angebracht.

3.1.3 Verdunkelte Brille

In diesem Experiment wurde bei einigen Aufgaben eine selbst hergestellte verdunkelte Brille eingesetzt. Sie bestand aus einer Schwimmbrille (arena), deren Gläser mit dunkler Folie abgeklebt waren, sodass kein Licht mehr durchdringen konnte und somit keine visuelle Information zur Verfügung stand.

3.1.4 *Datenerfassung und Verarbeitung*

3.1.4.1 Messtechnik

Die Abweichung von der Horizontalen kann an allen Achsen der Stabilometer erhoben werden. Als Sensoren dienen Potentiometer (Novotech P6501), die an den Achsen befestigt sind. Die anliegende Spannung wird mit einem 16 Bit Analog-Digital-Wandler (Advantech USB 4716) digitalisiert und mit der Software Dasylab 10.0 gespeichert und weiterverarbeitet. In diesem Programm konnte die Kalibrierung für die 0° Position sowie die Kalibrierung für die Umsetzung des Signals in Grad vorgenommen werden. Es wurden zwei Schaltbilder verwendet, welche mit einer Abtastfrequenz von 200 Hz die Abweichung in Grad für jeden Wert, von der Horizontalen ausgehend, aufzeichneten.

3.1.4.1.1 Potentiometer

Ein Potentiometer ist ein elektronisches Widerstandselement, dessen Widerstand mechanisch verändert werden kann. Potentiometer haben drei Anschlüsse (Abb. 26), zwei davon befinden sich an den Enden einer Widerstandsbahn, der dritte ist der Kontakt zum so genannten Schleifer, der auf den Widerstandskörper drückt und mechanisch bewegt werden kann (Schnabel, 2007, S. 107). Wird der Schleifer mechanisch bewegt, ändert sich die Länge der Widerstandsbahn und damit die abgegriffene Spannung. So kann indirekt über die veränderte Spannung auf eine Bewegung des Schleifers geschlossen werden.

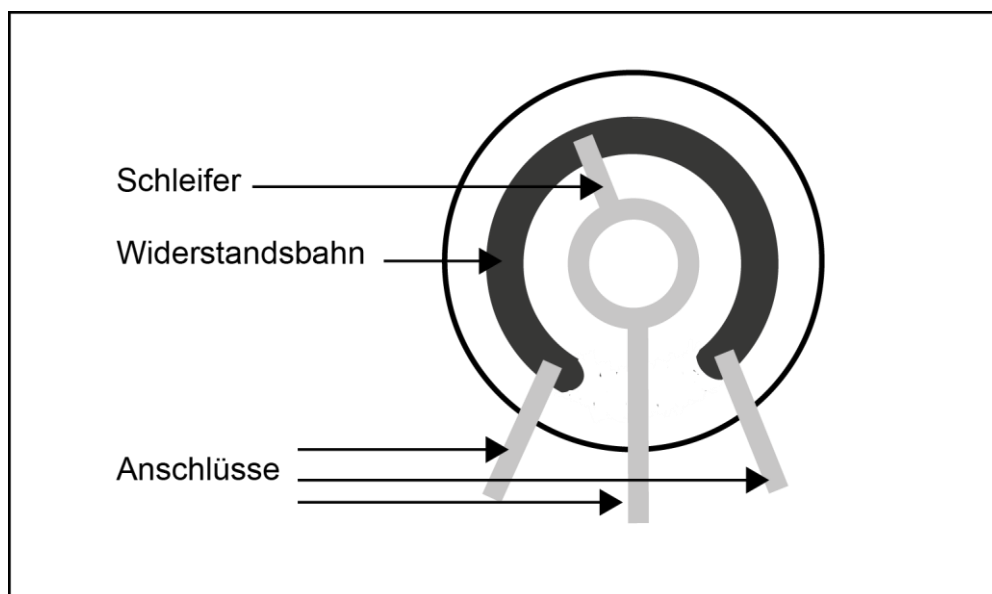


Abb. 26 Aufbau eines Schiebepotentiometer (Schnabel, 2007, S.108).

Neben Potentiometern mit geraden Widerstandsstrecken, die geeignet sind translatorische Bewegungen des Schleifers relativ zur Widerstandsstrecke zu messen, gibt es Potentiometer mit kreisförmigen Widerstandsstrecken, die geeignet sind Rotationsbewegungen des Schleifers zu messen (Schnabel, 2007, S.106). Diese ermöglichen die Messung von Rotationsbewegungen in den Achsen eines Stabilometers, wenn der Schleifer an der Drehachse des Stabilometers befestigt, die kreisförmige Widerstandsbahn dagegen fest installiert wird. Bewegt sich der Schleifer bei einer Rotation der Standfläche des Stabilometers relativ zur Widerstandsbahn, ändert sich auch die abgegriffene Spannung. Potentiometer können unterschiedliche Widerstandsverläufe haben (Schnabel, 2007, S.109). Der Widerstandsverlauf ist eine wichtige Information für eine Kalibrierung. Die in dieser Untersuchung verwendeten Drehpotentiometer haben einen linearen Widerstandsverlauf.

3.1.4.1.2 Analog-Digital-Wandler

Ein Analog-Digital-Wandler ermöglicht eine Digitalisierung von analogen Größen wie der elektrischen Spannung (Tietze & Schenk, 2002, S. 983). Der Analog-Digital-Wandler quantisiert das kontinuierliche Spannungssignal sowohl in der Zeit als auch in der Amplitude. Nach der Umsetzung stellt sich jedes Signal treppenförmig in einem Amplituden-Zeit Diagramm dar (Abb. 27).

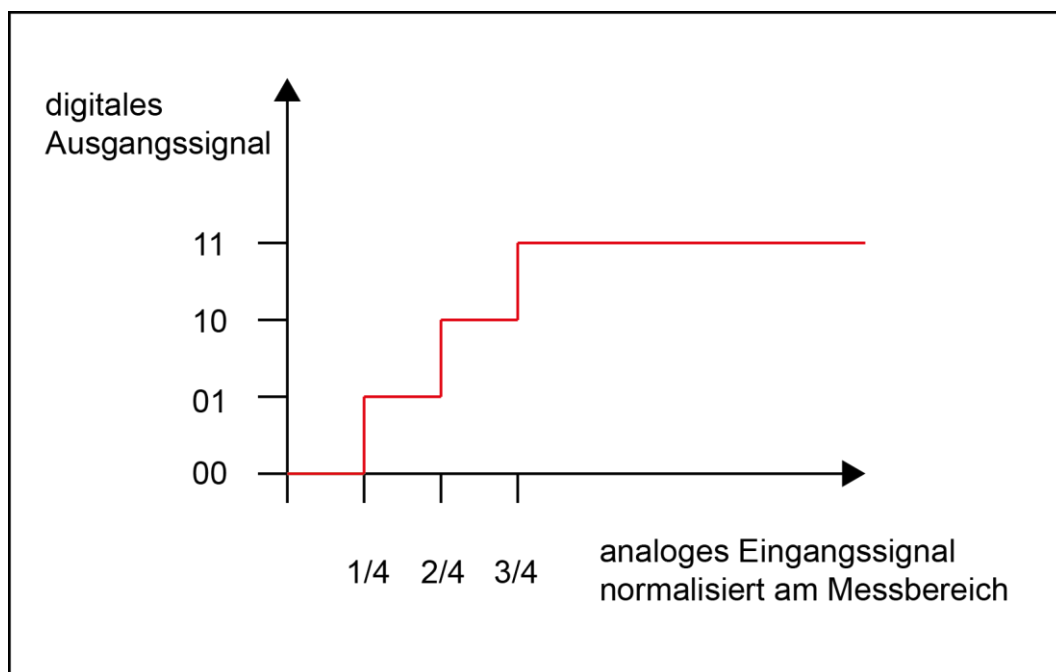


Abb. 27 Beispiel für einen 2 Bit Analog-Digital-Wandler.

Die wichtigsten Parameter eines Analog-Digital-Wandlers sind seine Auflösung in Bit und seine Umsetzungsrate. Der in diesem Experiment eingesetzte Analog-Digital-Wandler (Advantech USB 4716) hat eine Auflösung von 16 Bit. Da sich mit n Bits 2^n verschiedene Zustände darstellen lassen (Abb. 27), können mit dem verwendeten Analog-Digital-Wandler 65.536 verschiedene Schleiferstellungen digital dargestellt werden. Damit wird eine 360° -Rotation in Stufen von $0,0055^\circ$ quantisiert. Diese Auflösung ist für die Untersuchung von Bewegungen der Stabilometerplattform als ausreichend einzuschätzen.

Mit der Abtastfrequenz wird die Häufigkeit benannt, mit der ein Signal pro Zeitintervall abgetastet wird. (Tietze & Schenk, 2002, S. 997). Die Abtastfrequenz wurde in diesem Experiment auf 200 Hz festgesetzt. Nach dem Whittaker-Kotelnikow-Shannon-Abtasttheorem (Kotelnikow, 1933; Shannon, 1949; Whittaker, 1929) muss ein kontinuierliches Signal, das aus Frequenzen zwischen 0 Hz und $f_{\max}$ Hz zusammengesetzt ist, mit einer Frequenz von mindestens $2 \times f_{\max}$ abgetastet werden, um das Ursprungssignal ohne Informationsverlust rekonstruieren zu können. Da die Frequenzen der Plattformbewegung deutlich unter 10 Hz zu erwarten sind (Dietz et al., 1980; Dietz & Mauritz, 1982), ist

die gewählte Abtastfrequenz ausreichend, selbst wenn die Bildung eines gleitenden Mittelwerts dritter Ordnung (Kap. 3.1.4.2.2) als Tiefpassfilter wirkt.

3.1.4.2 Ergebnisaufbereitung

In den Rohdaten wurden durch visuelle Inspektion der Winkel-Zeit-Verläufe Messfehler identifiziert (vgl. Abb. 28). Um den Einfluss dieser Fehler auf die Messergebnisse zu minimieren, wurden die aufgezeichneten Rohdaten mit einer in Python programmierten Software korrigiert. Sämtliche Korrekturen wurden in einer log-Datei dokumentiert. Abschließend wurden die Korrekturen an grafisch dargestellten Winkel-Zeitverläufen (vgl. Abb. 29) visuell auf Plausibilität überprüft.

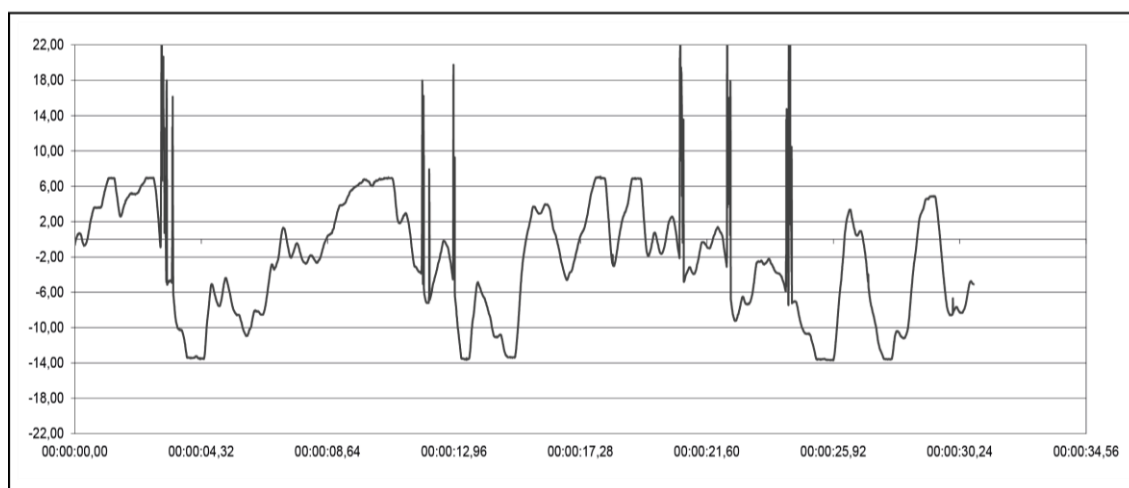


Abb. 28 Beispiel eines Winkel-Zeitverlaufs über 30 s Testdauer. Der Graph zeigt die Rohdaten vor der Bearbeitung durch die in Python programmierte Korrektur-Software.

3.1.4.2.1 Peakphänomen

Bei einigen, wenigen Messungen tauchten Peaks mit Messwerten außerhalb des durch die Anschläge begrenzten Bereichs auf (Abb. 28). Diese Peaks erstreckten sich über kurze Zeiträume und überschritten den maximalen Range des Stabilometers in hohem Maße. Deshalb wird vermutet, dass es sich bei diesen Peaks um Messfehler handelt und nicht um Bewegungen des Stabilometers. Der Beginn eines Peaks wurde anhand von Winkelgeschwindigkeiten $> 0,75^\circ/0,005 \text{ s}$ identifiziert, da angenommen wird, dass beim Bewältigen der Gleichgewichtsaufgaben auf dem Stabilometer Winkelgeschwindigkeiten von $>$

150°/s nicht auftreten können. Alle folgenden Messwerte wurden gelöscht, bis bei sieben Messwerten in Folge keine Winkelgeschwindigkeit von $> 0,75^\circ/0,005$ s auftrat. Anschließend wurden die gelöschten Messwerte linear interpoliert.

3.1.4.2.2 Quantisierungsrauschen

Bei einer Analog-Digital-Wandlung wird im Augenblick des Ab tastens dem Eingangssignal ein Wert zugeordnet. Dieses kann allerdings nicht exakt geschehen, da der Messbereich nur in 2^n (n = Bit des Analog-Digital-Wandlers) Abschnitte unterteilt wird. Dabei entsteht zwangsläufig ein Messfehler, der abhängig von der Auflösung des Analog-Digital-Wandlers ist. Dieser äußert sich in einem so genannten Quantisierungsrauschen, das umso kleiner wird je größer die Auflösung des Analog-Digital-Wandlers ist. In der Software zur Datenaufbereitung wurde dieses Rauschen durch die Bildung eines gleitenden Mittelwerts über drei Messdaten reduziert.

3.1.4.2.3 Rekalibrierung

Bevor eine VPn den Pretest oder den Posttest begann, wurden die Potentiometer manuell kalibriert. In einigen Fällen (z.B. Abb. 28) wurde festgestellt, dass die Kalibrierung fehlerhaft war. Dieses könnte eventuell an einem Fehler des Versuchsleiters liegen. Dass der Fehler bei der vorher ausgeführten Aufgabe nicht auftrat, bei den folgenden aber blieb, weist darauf hin, dass die Position des Potentiometers durch einen Kontakt mit der VPn beim Aufsteigen auf das Stabilometer verändert worden sein könnte. In diesem Fall ist der Gesamtrange von 20° nicht mehr im Bereich von $+ 10^\circ$ bis $- 10^\circ$, sondern zwischen ca. $+ 6^\circ$ und ca. $- 14^\circ$. Um die Messwerte zu rekalibrieren, wurden zunächst alle Messwerte mit einem Faktor multipliziert, sodass der Abstand zwischen den maximalen Ausschlägen in beide Richtungen 20° (Stabilometer II: 40°) beträgt. Anschließend wurde zu allen Messwerten ein konstanter Summand addiert, sodass der Bereich der Messwerte zwischen $- 10^\circ$ und $+ 10^\circ$ (Stabilometer II: $- 20^\circ$ bis $+ 20^\circ$) liegt. Falls die VPn während des Messintervalls einen der Anschläge nicht erreichten, wurde die Messung erst gestoppt nachdem der Ver-

suchsleiter das Stabilometer an alle Anschläge bewegt hatte. Sonst wäre die Rekalibrierung nicht möglich gewesen.

3.1.4.2.4 Magnetfunktion

Wenn an mindestens drei aufeinanderfolgenden Messwerten die durchschnittliche Steigung geringer als $0,02^\circ/0,005\text{ s}$ war und diese Werte einen geringeren Abstand als $0,35^\circ$ von einem der Anschläge hatten, wurden diese Messwerte gleich dem Wert des Anschlags gesetzt. Das Zutreffen dieser Voraussetzungen würde vermuten lassen, dass sich die Stabilometerplattform in diesem Zeitraum am Anschlag befindet. Deshalb werden die Messwerte auf den Wert des Anschlags korrigiert. Diese Korrektur hat nur einen minimalen Einfluss auf den später berechneten Root Mean Square Error (vgl. Kap. 3.1.5).

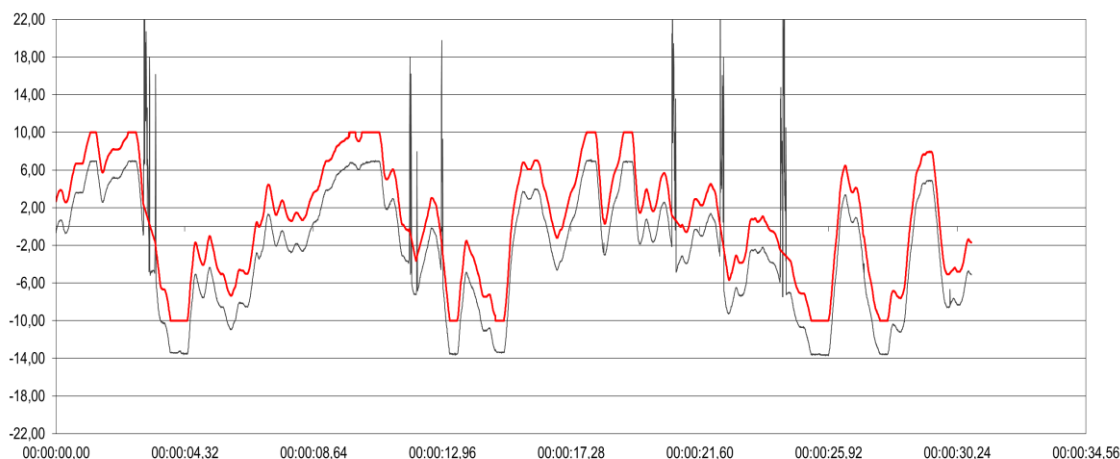


Abb. 29 Beispiel eines Winkel-Zeitverlaufs über 30 s Testdauer. Der graue Graph zeigt die Rohdaten vor der Bearbeitung durch die Korrektur-Software. Der rote Graph zeigt die korrigierten Daten. In diesem Beispiel werden die Korrektur der Peaks und die Addition eines konstanten Summanden besonders deutlich.

3.1.5 Abhängige Variable

Als abhängige Variable zur Beurteilung der Leistung bei den verschiedenen Stabilometeraufgaben wurde jeweils aus den korrigierten Messdaten der Root Mean Square Error (RMSE; Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers) für die Abweichungen von der Horizontalen (Abweichungen von 0°) berechnet. Durch das Quadrieren erhalten größere Abweichungen vom Sollwert eine stärkere Gewichtung als bei der Berechnung eines mittleren Fehlers. Der RMSE ist ein

in der Motorikforschung häufig verwendetes Fehlermaß, das vor allem bei kontinuierlichen Stabilometer- oder Trackingaufgaben eingesetzt wird (z.B. Wulf & McNevin, 2003).

3.1.6 *Übungs- und Transferaufgaben*

Die Übungs- und Transferaufgaben dieses Experiments müssen so gewählt werden, dass Annahmen über die bei der Aufgabenbewältigung eingesetzten posturalen Synergien und sensorischen Teilsysteme formuliert werden können. Die verwendeten Stabilometer ermöglichen es, Aufgaben zu stellen, von denen aufgrund der unterschiedlichen Auslenkungsrichtungen von Stabilometer I (Henry et al., 1998b) und des unterschiedlichen Abstands von Rotationsachse und Standfläche bei Stabilometer I und Stabilometer II (Gollhofer et al., 1989; Ivanenko et al., 2007), von der Beteiligung unterschiedlicher posturaler Synergien auszugehen ist. Andererseits können durch das Verändern der unterstützenden Zugfedern Aufgaben konstruiert werden, die trotz mechanischer Unterschiede mit den gleichen posturalen Synergien bewältigt werden sollten (Diener et al., 1988). Durch die Variation der Verfügbarkeit visueller Information mithilfe der verdunkelten Brille können sich Aufgaben hinsichtlich der Art und Bedeutung der beteiligten sensorischen Teilsysteme unterscheiden (McCollum et al., 1996).

In dieser Untersuchung gab es insgesamt sieben verschiedene Aufgaben. Die Startposition, die Instruktion und die Messdauer waren jeweils identisch. Die Aufgaben unterschieden sich durch das jeweils gewählte Stabilometer, die freigegebenen Achsen, die eingesetzten Zugfedern und die Verfügbarkeit visueller Information (Tab. 5).

Bei allen Aufgaben starteten die VPn in einer parallelen Standposition (Fußabstand 28 cm), den Blick nach vorn gerichtet (Fixieren des Aufklebers in Augenhöhe) und mit den Händen an der Wand abgestützt, sodass sich die Stabilometer-Standfläche in einer horizontalen Position befand. Die VPn wurden instruiert aus dieser Position die Hände an die Hüften zu nehmen und für eine Messdauer von 30 s die Standfläche so ruhig wie möglich in der horizontalen Position zu halten.

Aufgabe *I-Standard* wird auf Stabilometer I ausgeführt. Beide Achsen sind freigegeben. In beiden Achsen wurden unterstützende Zugfedern mit einer Federkonstante von 0,12 N/mm eingesetzt. Die verdunkelte Brille musste nicht aufgesetzt werden.

Aufgabe *I-Starke Federn* unterscheidet sich von Aufgabe *I-Standard* nur dadurch, dass die eingesetzten Federn eine Federkonstante von 0,21 N/mm hatten.

Aufgabe *I-Blind* unterscheidet sich von der Aufgabe *I-Starke Federn* dadurch, dass die VPn die verdunkelte Brille tragen mussten.

Aufgabe *I-ap* unterscheidet sich von der Aufgabe *I-Standard*, dadurch dass nur die ap-Achse freigegeben war (Federkonstante 0,12 N/mm), die ml-Achse wurde arretiert.

Aufgabe *I-ml* unterscheidet sich von der Aufgabe *I-Standard*, dadurch dass nur die ml-Achse freigegeben war (Federkonstante 0,12 N/mm), die ap-Achse wurde arretiert.

Aufgabe *II-ml* wurde auf Stabilometer II ausgeführt. Die VPn mussten die verdunkelte Brille nicht aufsetzen.

Aufgabe *II-blind* unterscheidet sich von Aufgabe *II-ml* dadurch, dass die VPn die verdunkelte Brille tragen mussten.

Tab. 5 Übersicht über die Aufgaben des Experiments 1.

Aufgabe	verwendetes Stabilometer	Federkonstante [N/mm]	verdunkelte Brille	freigegebene Achsen
I-Standard	Stabilometer I	0,12	-	a/p, m/l
I-Starke Federn	Stabilometer I	0,21	-	a/p, m/l
I-Blind	Stabilometer I	0,21	+	a/p, m/l
I-ap	Stabilometer I	0,12	-	a/p, m/l
I-ml	Stabilometer I	0,12	-	m/l
II-ml	Stabilometer II	-	-	m/l
II-Blind	Stabilometer II	-	+	m/l

3.1.7 Untersuchungsdesign

3.1.7.1 Vorgeschaltete Aneignungsphase

Aus anderen Experimenten ist bekannt, dass es bei der Aufgabe *II-ml* zu starken Pretesteffekten (Bortz & Döring, 2006, S. 539) kommen kann (Wünnemann et al., 2008). In vorbereitenden Untersuchungen zu diesem Experiment wurde festgestellt, dass sich auch der RMSE bei Aufgaben auf Stabilometer I innerhalb weniger Wiederholungen deutlich reduzieren kann. Das führt dazu, dass Leistungsverbesserungen nicht zwangsläufig auf die Intervention zwischen Pre- und Posttest zurückzuführen sind. Die wichtigste Maßnahme, um die Ergebnisse trotzdem interpretieren zu können ist das Untersuchen einer KG (KG). So können die Veränderungen der VG mit denen der KG verglichen werden und so der Effekt des Treatments untersucht werden. Um die Größe von Pretesteffekten einschätzen zu können, wird der Solomon Viergruppenplan vorgeschlagen (Bortz & Döring, 2006, S. 538-539). In diesem Versuchsplan werden die VPn randomisiert vier Gruppen zugeteilt. Neben den klassischen Gruppen mit Pretest und Posttest (VG und KG) wird eine Gruppe untersucht, die an der Intervention teilnimmt, aber nicht am Pretest, und eine Gruppe, die lediglich am Posttest teilnimmt. Durch die Vergleiche zwischen den vier Gruppen können Treatmenteffekte, Pretesteffekte und Zeiteffekte voneinander abgegrenzt werden (Bortz & Döring, 2006, S. 539). Der Solomon Viergruppenplan ist mit einem sehr großen Untersuchungsaufwand verbunden, denn es werden doppelt so viele Gruppen benötigt. Zusätzlich müssen die Gruppen sehr groß sein, um durch die Randomisierung zufällig entstandene Unterschiede auszuschließen. Ein weiteres Problem, das beim Pretest auftreten kann, wird durch den Solomon Viergruppenplan allerdings nicht gelöst. Durch die relativ schlechten Leistungen, die beim ersten Ausführen der Aufgaben auf den Stabilometern zu erwarten sind, kann es passieren, dass VPn sich an der Wand abstützen müssen, vom Versuchsleiter gestützt werden müssen, oder die Hände von den Hüften nehmen, um sie bei der Gleichgewichtsregulation einzusetzen. VPn, die sich während des Pretests auf diese Weise verhalten, müssen aus dem Experiment ausgeschlossen werden. Die gemessenen Abweichungen würden ihre tatsäch-

liche Leistung überschätzen und eine Wiederholung des Tests würde Testwiederholungseffekte (s.o.) erwarten lassen. Insbesondere bei den Aufgaben mit der verdunkelten Brille (*I-Blind*, *II-Blind*) ist zu erwarten, dass zahlreiche VPn ausgeschlossen werden müssten.

In diesem Experiment wird daher versucht, dieses Problem durch eine Aneignungsphase, die vor dem Pretest stattfindet, zu lösen. Darüber hinaus hat eine vorgeschaltete Aneignungsphase den Vorteil, dass sich Leistungsverbesserungen, die aufgrund einmaliger Aufgabenbewältigung auftreten, nicht mehr mit Treatmenteffekten vermischen. Pretesteffekte sollten also deutlich geringer ausfallen. Die vorgeschaltete Aneignungsphase bringt allerdings wieder neue Probleme mit sich. Es ist wahrscheinlich, dass die Aneignungsphase die Leistungen während des Pretests stärker positiv beeinflusst als die während des Posttests. So könnten sich im Vergleich von Pre- und Posttest Leistungsverbesserungen durch die einmal häufigere Aufgabenbewältigung mit Leistungseinbußen aufgrund des größeren zeitlichen Abstands zur Aneignungsphase überlagern. Eine Wiederholung der Aneignungsphase vor dem Posttest könnte dazu führen, dass Treatmenteffekte verdeckt würden. Die Einschränkung der internen Validität erscheint deshalb mit einer Aneignungsphase allein vor dem Pretest geringer zu sein. Aus ökonomischen Gründen wird nicht ein Solomon Viergruppenplan für dieses Experiment gewählt. Daher können unterschiedliche Einflüsse der Aneignungsphase auf die VG und die KG nicht überprüft werden, was in der Interpretation von Interaktionseffekten mit Beteiligung der Faktoren VG und Messzeitpunkt (MZP) berücksichtigt werden muss.

Während der vorgeschalteten Aneignungsphase führten die VPn die sieben Aufgaben (Kap. 3.1.6) in einer von drei verschiedenen Reihenfolgen jeweils zweimal 30 s lang durch (Tab. 6). Falls sich eine VPn an der Wand abstützte, vom Versuchsleiter gestützt wurde, oder die vorgegebene Haltung veränderte, wurde sie darauf hingewiesen, dieses möglichst zu unterlassen, und führte die Aufgabe während der verbleibenden Zeit weiter aus. Zwischen den einzelnen Aufgaben gab es einminütige Pausen, in denen die VPn das Computerspiel *Pinball Space Cadets* für Windows XP spielten. Dadurch sollte gewährleistet

werden, dass sie sich nicht während der Pause mit den Gleichgewichtsaufgaben beschäftigten.

Tab. 6 Reihenfolgen der Aufgaben während der vorgeschalteten Aneignungsphase

Reihenfolge 1	Reihenfolge 2	Reihenfolge 3
II-ml	I-Blind	II-Blind
I-Standard	I-Starke Federn	I-ml
I-Blind	II-ml	I-Standard
I-ml	I-ap	II-ml
I-ap	I-Standard	I-Blind
I-Starke Federn	II-Blind	I-ap
II-Blind	I-ml	I-Starke Federn

3.1.7.2 Pretest

Nach einer 15 minütigen Pause, in der wieder das Computerspiels *Pinball Space Cadets* gespielt wurde, fand der Pretest statt. Er bestand aus einem Durchgang aller sieben Aufgaben in der gleichen Reihenfolge wie während der Aneignungsphase (Tab. 6). Während der 30 s Aufgabenbewältigung wurden die Abweichungen der Stabilometer-Plattform gemessen (vgl. Kap. 3.1.4). Auch zwischen den einzelnen Aufgaben des Pretests gab es einminütige Pausen, in denen die VPn das Computerspiel spielten.

Nach dem Pretest wurden die VPn, parallelisiert (Bortz & Döring, 2006, S. 526) nach Pretest-Ergebnissen, Aufgabenreihenfolge und Geschlecht, fünf VGn und einer KG zugeteilt.

3.1.7.3 Intervention

Während einer vierwöchigen Intervention übten die VPn jeweils eine der fünf Aufgaben auf Stabilometer I, je nachdem welcher VG sie zugeordnet wurden (vgl. Tab. 7). Das Training wurde zweimal wöchentlich durchgeführt und umfasste zehn Durchgänge von jeweils einer Minute mit einminütigen Pausen. Zwischen den einzelnen Trainingseinheiten lag mindestens ein trainingsfreier Tag.

Tab. 7 Die VGn aus Experiment 1 mit den jeweils geübten Aufgaben.

Versuchsgruppe	Übungsaufgabe
VG _{Standard}	I-Standard
VG _{Starke Federn}	I-Starke Federn
VG _{Blind}	I-Blind
VG _{ap}	I-ap
VG _{ml}	I-ml
KG	-

3.1.7.4 Posttest

Fünf bis sieben Tage nach der letzten Übungseinheit bzw. fünf Wochen nach dem Pretest (KG) fand der Posttest statt. Der Ablauf des Posttests war identisch mit dem des Pretests (Kap. 3.1.7.2), allerdings ohne vorgeschaltete An eignungsphase (vgl. Kap. 3.1.7.1).

3.2 Operationalisierte Forschungshypothesen

Aus den in Kap. 2.4 aufgestellten allgemeinen Forschungshypothesen ist für dieses Experiment abzuleiten, dass sich alle VGn in der jeweils geübten Aufgabe stärker verbessern, als die KG. Die Art und Bedeutung der beteiligten posturalen Synergien, sowie die Art und Bedeutung der beteiligten sensorischen Teilsystem sollten bei einer Wiederholung der Aufgabe sich nicht verändern.

- OH1a1: VG_{Standard} reduziert bei Aufgabe *I-Standard* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.
- OH1a2: VG_{Standard} reduziert bei Aufgabe *I-Standard* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.
- OH1b1: VG_{Starke Federn} reduziert bei Aufgabe *I-Starke Federn* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

- OH1b2: $VG_{\text{Starke Federn}}$ reduziert bei Aufgabe *I-Starke Federn* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.
- OH1c1: VG_{Blind} reduziert bei Aufgabe *I-Blind* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.
- OH1c2: VG_{Blind} reduziert bei Aufgabe *I-Blind* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.
- OH1d: VG_{ap} reduziert bei Aufgabe *I-ap* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.
- OH1e: VG_{ml} reduziert bei Aufgabe *I-ml* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

Weiterhin sollte Transfer nachweisbar sein, wenn sich Übungs- und Transferaufgabe lediglich durch die eingesetzten Zugfedern unterscheiden. Nur aufgrund der Veränderung der Zugfedern ist nicht davon auszugehen, dass sich Art und Bedeutung der beteiligten posturalen Synergien oder Art und Bedeutung der beteiligten sensorischen Teilsysteme zwischen den Aufgaben verändert.

- OH2a1: VG_{Standard} reduziert bei Aufgabe *I-Starke Federn* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.
- OH2a2: VG_{Standard} reduziert bei Aufgabe *I-Starke Federn* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.
- OH2b1: $VG_{\text{Starke Federn}}$ reduziert Aufgabe *I-Standard* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.
- OH2b2: $VG_{\text{Starke Federn}}$ reduziert Aufgabe *I-Standard* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

Auch wenn sich Übungs- und Transferaufgabe dadurch unterscheiden, dass in einer der Aufgaben eine zusätzliche Achse freigegeben ist, ist von einer Reduktion der Fehler in der Achse auszugehen, die während der Übungsphase freigegeben war.

- OH3a1: VG_{Standard} reduziert bei Aufgabe *I-ap* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.
- OH3a2: VG_{Standard} reduziert bei Aufgabe *I-ml* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

OH3b1: VG_{ap} reduziert bei Aufgabe *I-Standard* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

OH3b2: VG_{ml} reduziert bei Aufgabe *I-Standard* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

Dagegen wird kein Transfer erwartet, wenn sich die Art und Bedeutung der beteiligten posturalen Synergien zwischen Übungs- und Transferaufgabe unterscheiden. Davon ist bei der Gleichgewichtsregulation in der Achse auszugehen, die während der Übungsphase arretiert war (vgl. Kap. 3.1.6).

OH4a: VG_{ap} reduziert bei Aufgabe *I-Standard* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

OH4b: VG_{ap} reduziert bei Aufgabe *I-ml* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

OH4c: VG_{ml} reduziert bei Aufgabe *I-Standard* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

OH4d: VG_{ml} reduziert bei Aufgabe *I-ap* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

Ebenfalls wird von unterschiedlichen beteiligten posturalen Synergien ausgegangen, wenn die Transferaufgabe auf einem Stabilometer bewältigt wird, das einen veränderten Abstand zwischen Drehachse und Standfläche hat (vgl. Kap. 3.1.6). Demnach wird auch bei Transferaufgaben auf Stabilometer II kein Transfer erwartet.

OH5a: $VG_{Standard}$ reduziert bei Aufgabe *II-ml* den RMSE vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

OH5b: $VG_{Starke\ Federn}$ reduziert bei Aufgabe *II-ml* den RMSE vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

OH5c: VG_{ap} reduziert bei Aufgabe *II-ml* den RMSE vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

OH5d: VG_{ml} reduziert bei Aufgabe *II-ml* den RMSE vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

OH5e: VG_{Blind} reduziert bei Aufgabe *II-Blind* den RMSE vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

Ebenfalls lässt sich anhand der allgemeinen Forschungshypothesen ableiten, dass kein Transfer zu erwarten ist, wenn sich Übungs- und Transferaufgabe dadurch unterscheiden, dass bei einer Aufgabe eine verdunkelte Brille getragen werden musste, da diese zu Unterschieden in der Art und Bedeutung der beteiligten sensorischen Teilsysteme führt (vgl. Kap. 2.2.4).

- OH6a1: $VG_{\text{Starke Federn}}$ reduziert bei Aufgabe *I-Blind* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.
- OH6a2: $VG_{\text{Starke Federn}}$ reduziert bei Aufgabe *I-Blind* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.
- OH6b1: VG_{Blind} reduziert bei Aufgabe *I-Starke Federn* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.
- OH6b2: VG_{Blind} reduziert bei Aufgabe *I-Starke Federn* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

3.3 Statistische Auswertung

Zur statistischen Prüfung der operationalisierten Forschungshypothesen wurde die Software SPSS 18.0 verwendet.

Die Normalverteilung der einzelnen Zellen ist eine Voraussetzung der hypothesenprüfenden varianzanalytischen Verfahren (Bortz, 2005, S. 284-285; S. 328). Deshalb wurden zunächst alle Daten der RMSEs zu beiden Messzeitpunkten bei allen Aufgaben mit dem Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest mit Lilliefors-Schranken (Lilliefors, 1967; Bortz et al., 2008, S. 253-255) auf Normalverteilung geprüft. Die Lilliefors-Schranken sind notwendig, da Mittelwert und Standardabweichung der Normalverteilung, gegen die die empirischen Verteilungen geprüft werden sollen, unbekannt sind und deshalb auf Grundlage des Mittelwerts und der Standardabweichung der empirischen Verteilung geschätzt werden müssen (Lilliefors, 1967, S. 399; Bortz et al., 2008, S. 253). Um das β -Fehlerniveau gering zu halten, wird die Nullhypothese (die Verteilung der empirischen Daten unterscheidet sich nicht von der Normalverteilung) ab einem α -Fehlerniveau von $\alpha = .20$ verworfen (Bortz et al., 2008, S. 251).

Anschließend wird überprüft, ob die Reihenfolge der Aufgaben während der Tests einen Einfluss auf die Leistung der einzelnen Aufgaben hatte. Dazu wird

eine vierfaktorielle Varianzanalyse MZP (2) x Abhängige Variable (10) x VG (6) x Reihenfolge (3) berechnet. Bei dieser Variananalyse werden bei Verletzung der Sphärizität die Freiheitsgrade nach Greenhouse und Geisser (1959) korrigiert. Insbesondere ist interessant, ob zuvor bewältigte Aufgaben einen Einfluss auf nachfolgende Aufgaben haben. Dazu werden sämtliche Interaktionen, an denen die Faktoren Abhängige Variable und Reihenfolge beteiligt sind, berücksichtigt (Abhängige Variable x Reihenfolge, Abhängige Variable x Reihenfolge x MZP, Abhängige Variable x Reihenfolge x VG, Abhängige Variable x Reihenfolge x MZP x VG).

Zur Hypothesenprüfung wird für jede Kombination von VG und Aufgabe, für die aufgrund der Hypothesen Vorhersagen möglich sind, eine zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) Messzeitpunkt (MZP) x VG (VG; Interventionsgruppe, KG) mit Messwiederholung auf dem Faktor MZP (Pretest, Posttest) berechnet. Die Interaktionseffekte MZP x VG sind von besonderer Bedeutung, da sie Hinweise auf eine unterschiedliche Veränderung vom Pretest zum Posttest zwischen der VG und der KG geben. Für Unterschiedshypothesen wird das Signifikanzniveau auf $p < .05$ bei einseitiger Prüfung festgelegt. Entspricht die Nullhypothese der Erwartung wird, wie bei der Normalverteilungsprüfung, auf ein Signifikanzniveau von $p > .20$ beidseitig geprüft (Bortz & Döring, 2006, S. 650-651). Um zu überprüfen, ob mögliche signifikante Interaktionseffekte aufgrund von Leistungseinbußen der KG auftreten (vgl. Kap. 3.1.7.1), werden die Interaktionen durch zwei post-hoc durchgeführte T-Tests für abhängige Stichproben aufgeklärt, in denen die Veränderung der beiden beteiligten Gruppen vom Pretest zum Posttest untersucht werden. Immer wenn multiple statistische Verfahren eine Unterschiedshypothese prüfen (z.B. OH1a1-OH1e; post-hoc T-Tests), werden die p -Werte nach Benjamini und Hochberg (1995) korrigiert (p_{adj}) um die *False Discovery Rate* zu kontrollieren. Als Effektgröße wird das partielle eta-Quadrat (η^2_p) berechnet.

3.4 Ergebnisse Experiment 1

3.4.1 Voraussetzungsüberprüfungen

Die Ergebnisse der Prüfung der einzelnen Zellen auf Normalverteilung sind im Anhang zu finden. Von den 120 Tests auf Normalverteilung weisen 21 einen p-Wert von $p < .200$ auf.

Glass, Pekham und Sanders (1972) kommen in ihrem Literaturüberblick zu Voraussetzungsverletzungen bei Varianzanalysen zu dem Schluss: „Abweichungen von der Normalität sind zu vernachlässigen, wenn die Populationsverteilungen schief sind“ (zitiert nach Bortz, 2005, S. 287). Nach Hopkins und Weeks (1990) sind die vorliegenden Verteilungen teilweise als (extrem) schiefe Verteilungen anzusehen (S. 275). Außerdem sind Varianzanalysen bei gleich großen Stichproben, wie in diesem Experiment, relativ robust gegen Voraussetzungsverletzungen (Bortz, 2005, S. 287). Deshalb werden trotz der Verletzungen der Normalverteilung mit den erhobenen Daten die hypothesenprüfenden Varianzanalysen berechnet.

Die Interaktionseffekte mit den Faktoren Abhängige Variable und Reihenfolge der vierfaktoriellen Varianzanalyse zur Überprüfung des Einflusses der Reihenfolge auf die Leistung der einzelnen Aufgaben sind in Tab. 8 dargestellt. Es zeigt sich ein signifikanter Interaktionseffekt Abhängige Variable x Reihenfolge x MZP, der darauf hinweist, dass sich der Einfluss der Reihenfolge auf die Leistungsunterschiede zwischen den Aufgaben von Vor- zum Posttest verändert. Da dieses aber unabhängig von dem Faktor VG ist und die Reihenfolgen gleichmäßig in den VGn verteilt sind, können die hypothesenprüfenden Varianzanalysen interpretiert werden, ohne diese Interaktion zu berücksichtigen.

Interaktion	<i>df</i> (Greenhouse-Geisser)	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2_p
Abhängige Variable * Reihenfolge	4,13; 111,56	1,95	.105	.07
Abhängige Variable * Reihenfolge * MZP	8,33; 224,89	2,03	.042	.07
Abhängige Variable * Reihenfolge * VG	20,66; 111,56	1,05	.412	.16
Abhängige Variable * Reihenfolge * MZP * VG	41,65; 224,89	1,20	.205	.18

In Tab. 9 wird ein Überblick über Mittelwerte und Standardabweichungen der RMSEs aller VGn bei der Bewältigung aller sieben Aufgaben, sowohl beim Pretest, als auch beim Posttest gegeben. Diese Übersicht beinhaltet auch diejenigen Aufgaben, die nicht zur Hypothesenprüfung herangezogen werden, weil sich Übungs- und Transferaufgabe in mehr als einem Faktor unterscheiden.

		<i>I - Standard</i>				<i>I - Starke Feden</i>				<i>I - Blind</i>				<i>I - ap</i>		<i>I - ml</i>		<i>II - ml</i>		<i>II - Blind</i>	
		ap		ml		ap		ml		ap		ml		ap		ml		ml		ml	
		m	sd	ml	sd	m	sd	ml	sd	m	sd	ml	sd	m	sd	ml	sd	ml	sd	ml	sd
VG	pre	7.75 ± 0.54		6.34 ± 0.70		6.91 ± 0.91		5.38 ± 1.52		8.41 ± 0.37		7.73 ± 0.70		6.82 ± 1.40		5.21 ± 1.69		8.07 ± 2.55		13.74 ± 1.41	
"Standard"	post	6.70 ± 1.15		4.01 ± 1.12		5.95 ± 1.80		3.45 ± 1.72		8.68 ± 0.32		7.47 ± 0.44		6.28 ± 1.30		4.17 ± 1.58		6.77 ± 3.09		14.01 ± 2.33	
VG	pre	7.84 ± 0.63		5.90 ± 1.33		7.25 ± 0.91		6.43 ± 2.63		8.51 ± 0.41		7.80 ± 0.53		7.10 ± 0.65		5.89 ± 1.15		9.71 ± 3.55		14.81 ± 0.62	
"S. Federn"	post	7.13 ± 0.83		4.96 ± 1.25		6.47 ± 1.46		4.46 ± 1.55		8.65 ± 0.61		8.13 ± 0.54		6.40 ± 1.07		4.42 ± 1.97		8.85 ± 4.29		15.38 ± 0.90	
VG	pre	7.62 ± 0.91		6.36 ± 0.94		7.02 ± 1.00		5.57 ± 0.91		8.56 ± 0.42		8.04 ± 0.49		7.16 ± 0.82		5.70 ± 1.41		9.90 ± 3.05		15.08 ± 0.61	
"Blind"	post	7.84 ± 1.08		5.75 ± 1.44		7.48 ± 1.09		4.54 ± 1.61		8.71 ± 0.47		7.31 ± 0.91		7.24 ± 1.01		5.38 ± 1.73		10.43 ± 2.90		14.72 ± 1.68	
VG	pre	7.65 ± 0.89		6.10 ± 1.08		7.00 ± 1.39		4.55 ± 1.51		8.42 ± 0.35		7.59 ± 0.63		7.00 ± 0.90		5.48 ± 1.57		9.35 ± 3.56		14.65 ± 0.96	
"ap"	post	7.36 ± 0.66		5.74 ± 1.18		6.26 ± 1.73		4.31 ± 1.82		8.34 ± 0.31		7.66 ± 0.77		5.91 ± 1.00		5.47 ± 1.51		9.36 ± 3.08		14.61 ± 0.64	
VG	pre	7.80 ± 0.40		6.52 ± 1.02		7.01 ± 0.72		5.28 ± 1.23		8.44 ± 0.30		7.56 ± 0.99		7.25 ± 0.66		5.89 ± 0.80		8.90 ± 2.28		15.01 ± 0.74	
"ml"	post	7.74 ± 0.84		6.11 ± 1.52		6.95 ± 0.82		5.13 ± 1.79		8.41 ± 0.25		7.81 ± 0.78		6.97 ± 0.70		3.83 ± 1.26		6.71 ± 2.31		14.70 ± 1.03	
KG	pre	7.78 ± 0.78		6.34 ± 1.10		7.18 ± 1.24		5.84 ± 1.27		8.39 ± 0.43		7.36 ± 1.34		7.45 ± 0.88		5.67 ± 1.36		9.47 ± 4.08		14.61 ± 1.63	
	post	8.11 ± 0.61		6.64 ± 0.77		7.43 ± 0.98		5.78 ± 1.36		8.39 ± 0.54		8.02 ± 0.84		7.38 ± 0.54		6.01 ± 1.26		10.31 ± 3.82		15.07 ± 1.26	

3.4.3 Hypothesenprüfung

3.4.3.1 Aufgabenspezifische Lerneffekte

Insgesamt wird die Annahme, dass sich die VGn in der jeweils geübten Aufgabe stärker verbessern als die KG an acht Interaktionseffekten überprüft (OH1a1-OH1e). Deshalb werden die angegebenen p -Werte nach Benjamini und Hochberg (1995) adjustiert (p_{adj}).

OH1a1: VG_{Standard} reduziert bei Aufgabe *I-Standard* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

VG_{Standard} reduziert den RMSE bei der Aufgabe *I-Standard*, die während der Intervention geübt wurde, in der ap-Achse von 7,75° auf 6,7°, die KG hingegen steigert den RMSE von 7,78° auf 8,11° (Tab. 9, Abb. 30). Die Entwicklung des RMSEs vom Pretest zum Posttest unterscheidet sich in zwischen den Gruppen, der Interaktionseffekt MZP x VG ist signifikant, $F(1, 22) = 16.20$; $p_{adj} = .001$; $\eta^2_p = .42$. Dieser kommt durch die signifikante Verbesserung der VG_{Standard}, $t(11) = 3.49$, $p_{adj} = .005$, und die nicht signifikante Leistungsminderung der KG, $t(11) = -2.01$, $p_{adj} = .140$, zustande. OH1a1 kann damit bestätigt werden.

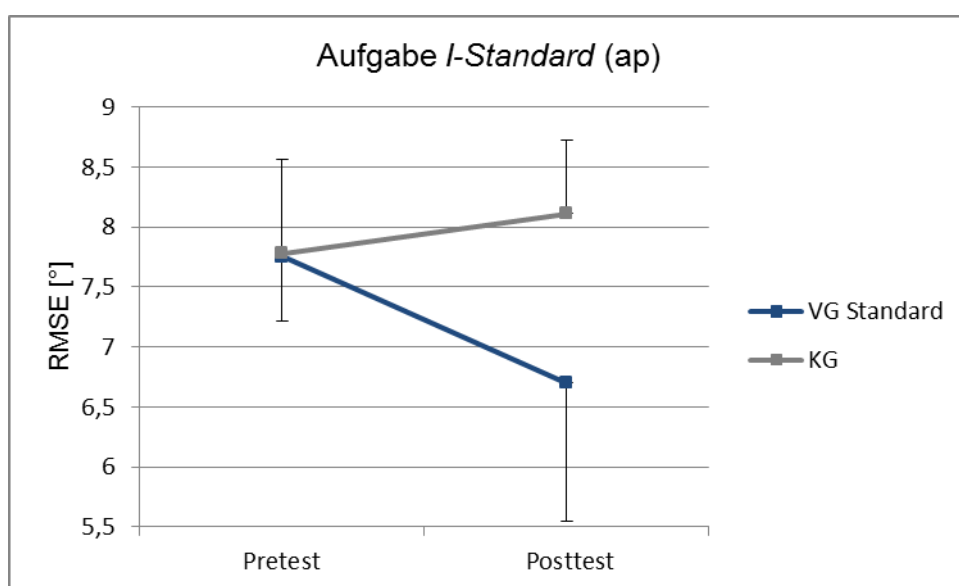


Abb. 30 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Standard* (ap) in der VG_{Standard} und der KG.

OH1a2: VG_{Standard} reduziert bei Aufgabe *I-Standard* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

VG_{Standard} und die KG haben beim Pretest der Aufgabe *I-Standard* einen RMSE von $6,43^\circ$ in der ml-Achse. VG_{Standard} reduziert diesen zum Posttest auf $4,01^\circ$, die KG verändert den RMSE auf $6,64^\circ$ (Tab. 9, Abb. 31). Die Entwicklung des RMSEs vom Pretest zum Posttest unterscheidet sich in zwischen den Gruppen, was der signifikante Interaktionseffekt MZP x VG anzeigt, $F(1, 22) = 28.74$; $p_{\text{adj}} < .001$; $\eta^2_p = .57$. Dieser ist durch die signifikante Verbesserung der VG_{Standard} , $t(11) = 5.82$, $p_{\text{adj}} < .001$, und die nicht signifikante Leistungsminderung der KG, $t(11) = -1.05$, $p_{\text{adj}} = .635$, begründet. *OH1a2 kann bestätigt werden.*

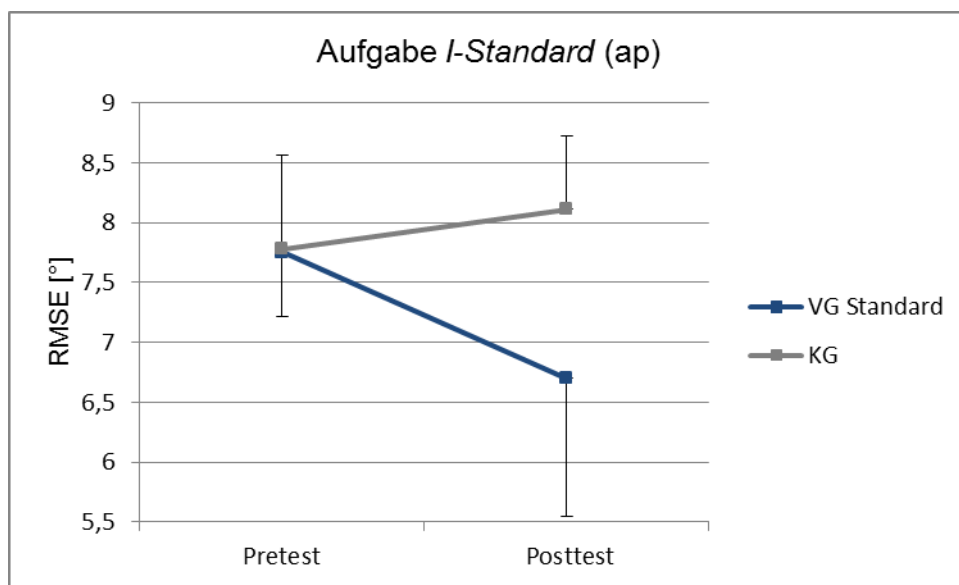


Abb. 31 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Standard* (ml) in der VG_{Standard} und der KG.

OH1b1: $VG_{\text{Starke Federn}}$ reduziert bei Aufgabe *I-Starke Federn* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

$VG_{\text{Starke Federn}}$ reduziert den RMSE bei der Aufgabe *I-Starke Federn*, die während der Intervention geübt wurde, in der ap-Achse von $7,25^\circ$ auf $6,47^\circ$, die KG verändert den RMSE von $7,18^\circ$ auf $7,43^\circ$ (Tab. 9, Abb. 32). Die Entwicklung des RMSEs vom Pretest zum Posttest unterscheidet sich in zwischen den Gruppen, der Interaktionseffekt MZP x VG ist signifikant, $F(1, 22) = 6.74$; $p_{\text{adj}} = .011$; $\eta^2_p = .23$. Das liegt an einer signifikante Reduktion des RMSEs in der $VG_{\text{Starke Federn}}$, $t(11) = 2.76$, $p_{\text{adj}} = .019$, und dem unveränderten RMSE der KG, $t(11) = -0.86$, $p_{\text{adj}} = .815$. OH1b1 kann damit bestätigt werden.

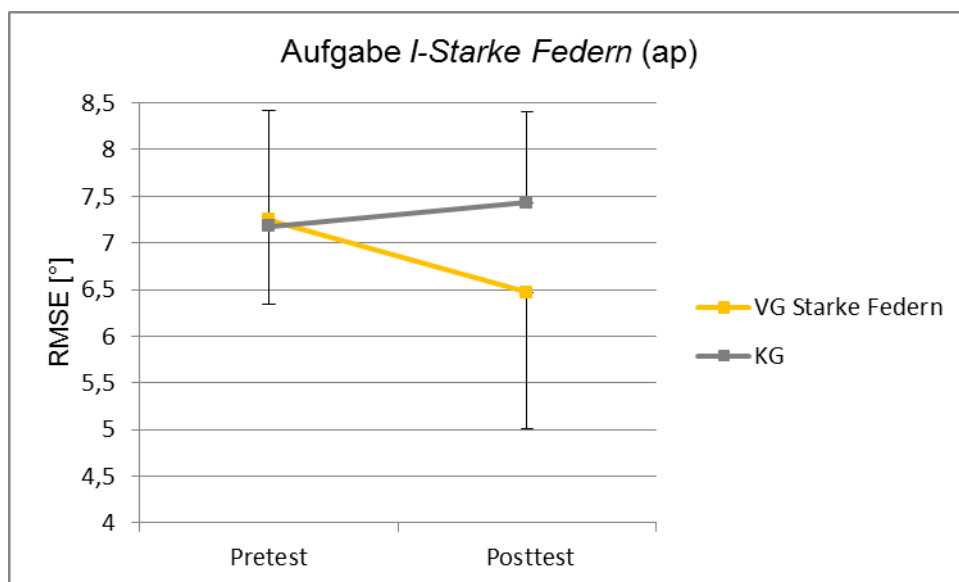


Abb. 32 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Starke Federn* (ap) in der $VG_{\text{Starke Federn}}$ und der KG.

OH1b2: $VG_{\text{Starke Federn}}$ reduziert bei Aufgabe *I-Starke Federn* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

In der ml-Achse verringert $VG_{\text{Starke Federn}}$ den RMSE bei der Aufgabe *I-Starke Federn* von $6,43^\circ$ auf $4,46^\circ$, die KG reduziert den RMSE von $5,84^\circ$ auf $5,78^\circ$ (Tab. 9, Abb. 33). Die Entwicklung des RMSEs vom Pretest zum Posttest unterscheidet sich zwischen den Gruppen, der Interaktionseffekt MZP x VG ist signifikant, $F(1, 22) = 5.26$; $p_{adj} = .018$; $\eta^2_p = .19$. Er entsteht aufgrund der signifikanten Leistungssteigerung der $VG_{\text{Starke Federn}}$, $t(11) = 2.59$, $p_{adj} = .025$, und dem unveränderten RMSE der KG, $t(11) = 0.16$, $p_{adj} > .999$. *OH1b2 wird bestätigt.*

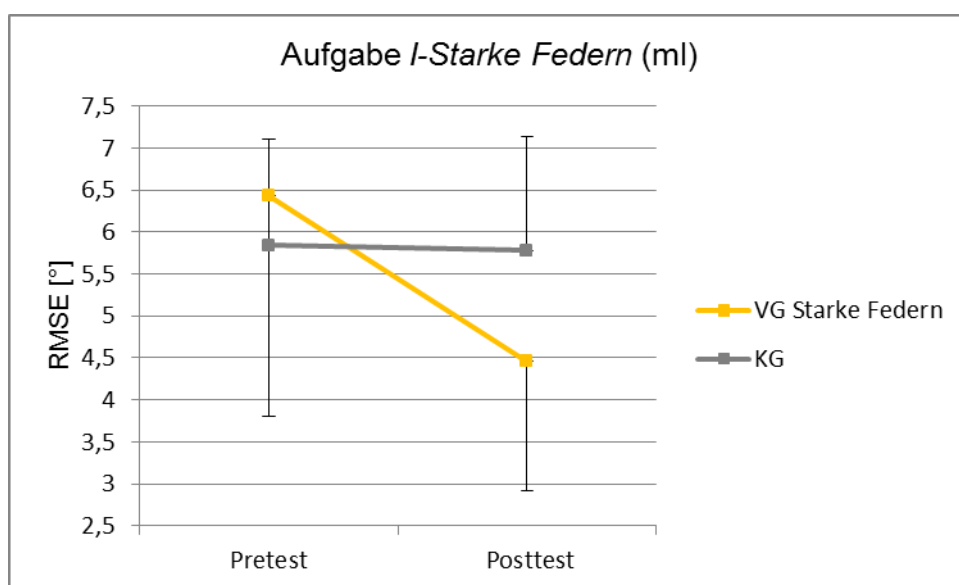


Abb. 33 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Starke Federn* (ml) in der $VG_{\text{Starke Federn}}$ und der KG.

OH1c1: VG_{Blind} reduziert bei Aufgabe *I-Blind* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

VG_{Blind} reduziert den RMSE bei der Aufgabe *I-Blind*, die zwischen Pre- und Posttest geübt wurde, in der ap-Achse von $8,56^\circ$ auf $8,71^\circ$. Die KG erreicht sowohl beim Pretest, als auch beim Posttest einen RMSE von $8,39^\circ$ (Tab. 9, Abb. 34). Die Entwicklung des RMSEs vom Pretest zum Posttest unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den Gruppen, Interaktionseffekt MZP x VG, $F(1, 22) = 0.67$; $p_{\text{adj}} = .242$; $\eta^2_p = .03$. Die T-Tests für abhängige Stichproben weisen darauf hin, dass keine der beiden Gruppen die Leistung zwischen Pre- und Posttest verändert hat, VG_{Blind} , $t(11) = -1.00$, $p_{\text{adj}} = .340$, KG, $t(11) = -0.07$, $p_{\text{adj}} > .999$. OH1c1 muss deshalb abgelehnt werden.

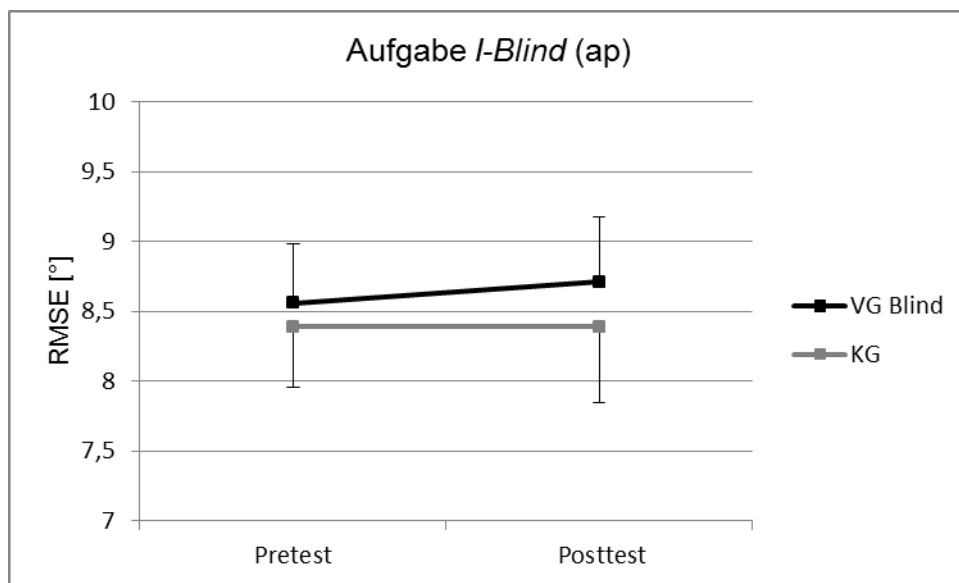


Abb. 34 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Blind* (ap) in der VG_{Blind} und der KG.

OH1c2: VG_{Blind} reduziert bei Aufgabe *I-Blind* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

Die VG_{Blind} reduziert den RMSE bei der Aufgabe *I-Blind* in der ml-Achse von $8,04^\circ$ auf $7,31^\circ$. Die KG erreicht beim Posttest ($8,02^\circ$) ein schlechteres Ergebnis als beim Pretest ($7,36^\circ$; Tab. 9, Abb. 35). Die Entwicklung des RMSEs vom Pretest zum Posttest unterscheidet zwischen den Gruppen, was der signifikante Interaktionseffekt MZP x VG deutlich macht, $F(1, 22) = 12.85$; $p_{\text{adj}} = .001$; $\eta^2_p = .37$. In den Vergleichen der Pre- und Posttest in den beiden Gruppen zeigt sich, dass sich VG_{Blind} signifikant verbessert hat, $t(11) = 2.60$, $p_{\text{adj}} = .012$, die KG sich dagegen signifikant verschlechtert hat, $t(11) = -2.47$, $p_{\text{adj}} = .031$. OH1c2 kann deshalb bestätigt werden.

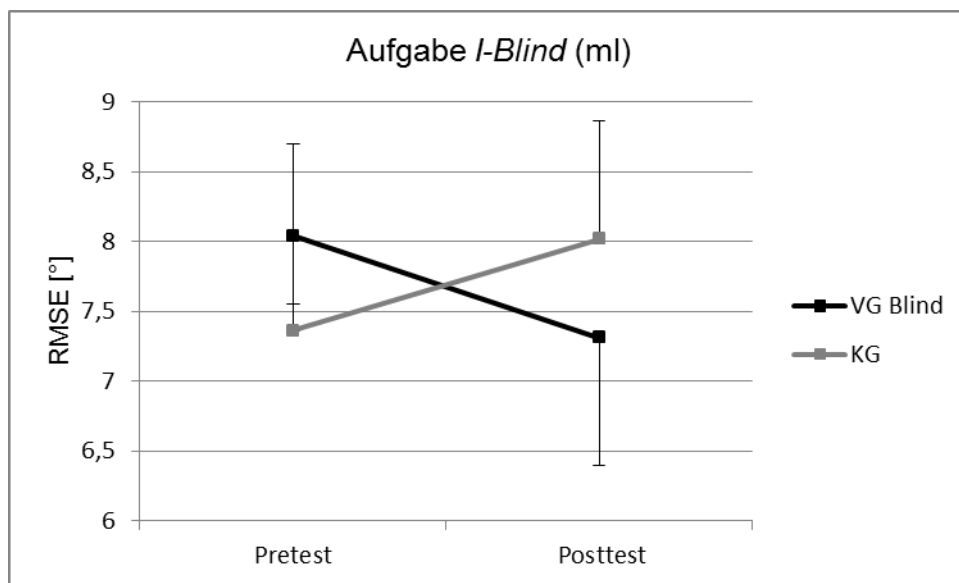


Abb. 35 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Blind* (ml) in der VG_{Blind} und der KG.

OH1d: VG_{ap} reduziert bei Aufgabe *I-ap* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

VG_{ap} reduziert den RMSE bei ihrer Übungsaufgabe *I-ap* in der ap-Achse von $7,00^\circ$ auf $5,91^\circ$, der RMSE der KG verändert sich kaum von $7,45^\circ$ auf $7,38^\circ$. (Tab. 9, Abb. 36). Die Entwicklung des RMSEs unterscheidet sich zwischen den Gruppen signifikant, Interaktionseffekt MZP x VG, $F(1, 22) = 11.61$; $p_{adj} = .002$; $\eta^2_p = .35$. Der Interaktionseffekt kann durch eine signifikante Verbesserung in der VG_{ap} , $t(11) = 4.51$, $p_{adj} < .001$, bei unveränderter Leistung in der KG, $t(11) = 0.40$, $p_{adj} = .696$, erklärt werden. *OH1d wird bestätigt.*

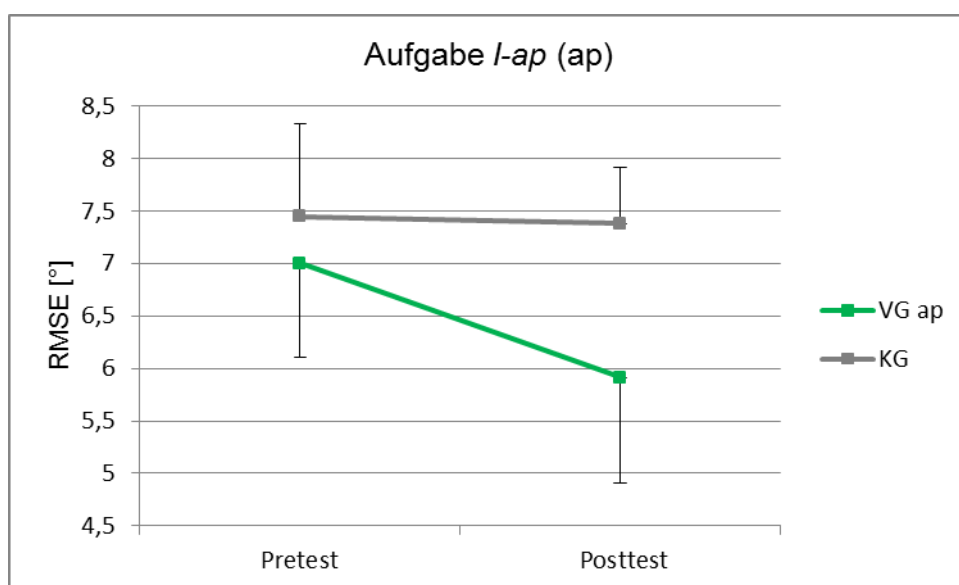


Abb. 36 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-ap* (ap) in der VG_{ap} und der KG.

OH1e: VG_{ml} reduziert bei Aufgabe *I-ml* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

VG_{ml} reduziert bei der Übungsaufgabe *I-ml* den RMSE in der ml-Achse von 5,89° auf 3,83°, in der KG ist der RMSE beim Posttest (6,01°) dagegen etwas größer als beim Pretest (5,67°; Tab. 9, Abb. 37). Der RMSE verändert sich in den Gruppen unterschiedlich, Interaktionseffekt MZP x VG, $F(1, 22) = 20.38$; $p_{adj} < .001$; $\eta^2_p = .48$, was durch die signifikante Reduktion des RMSEs in der VG_{ml}, $t(11) = 4.19$, $p_{adj} = .001$, bei nicht signifikanter Leistungsveränderung in der KG, $t(11) = -1.68$, $p_{adj} = .121$, erklärt werden kann. *OH1e kann bestätigt werden.*

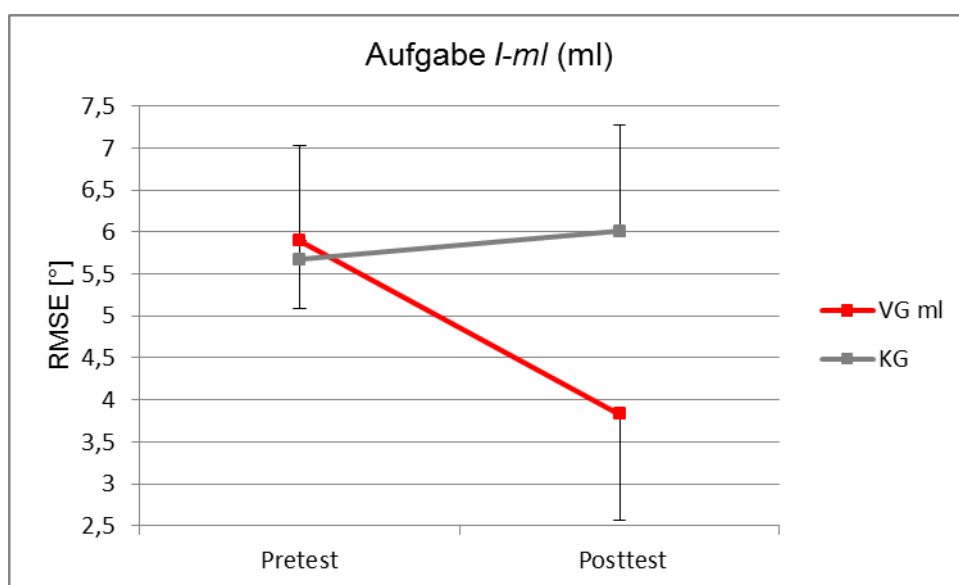


Abb. 37 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-ml* (ml) in der VG_{ml} und der KG.

3.4.3.2 Transfer auf Aufgaben mit veränderter Federkonstante

OH2a1: VG_{Standard} reduziert bei Aufgabe *I-Starke Federn* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

VG_{Standard} reduziert den RMSE in der ap-Achse bei der Aufgabe *I-Starke Federn*, die sich von der Übungsaufgabe durch eine veränderte Federkonstante der unterstützenden Zugfedern unterscheidet von $6,91^\circ$ auf $5,95^\circ$, die KG erhöht RMSE von $7,18^\circ$ auf $7,43^\circ$ (Tab. 9, Abb. 38). Die Entwicklung des RMSEs vom Pretest zum Posttest unterscheidet sich in zwischen den Gruppen, der Interaktionseffekt MZP x VG ist signifikant, $F(1, 22) = 6.72$; $p_{\text{adj}} = .009$; $\eta^2_p = .23$. Dieser ist durch die signifikante Verbesserung der VG_{Standard} , $t(11) = 2.63$, $p_{\text{adj}} = .024$, ohne Veränderung in der KG, $t(11) = -0.86$, $p_{\text{adj}} = .815$, zu erklären. OH2a1 kann damit bestätigt werden.

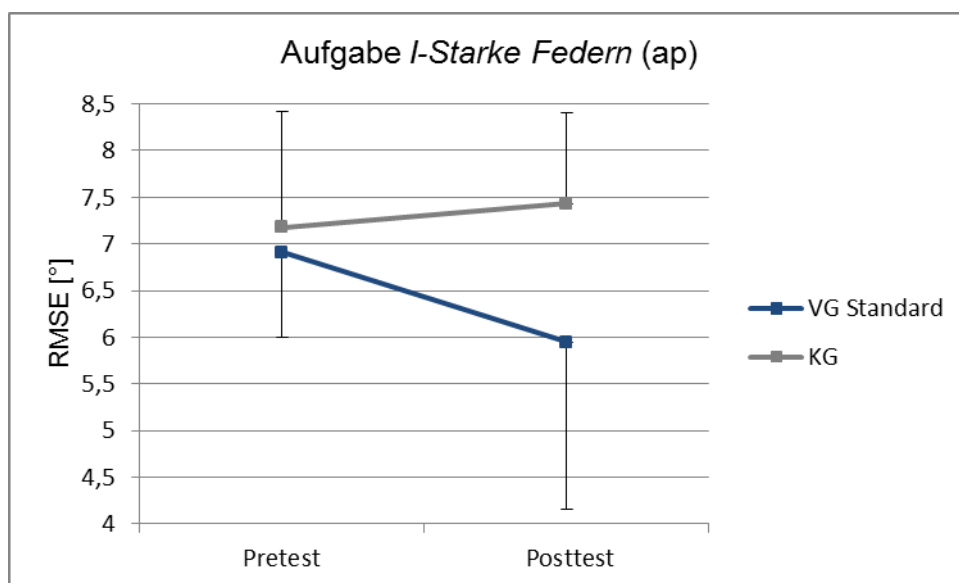


Abb. 38 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Starke Federn* (ap) in der VG_{Standard} und der KG.

OH2a2: VG_{Standard} reduziert bei Aufgabe *I-Starke Federn* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

In der ml-Achse der Aufgabe *I-Starke Federn* verbessert sich die Leistung von VG_{Standard} von $5,21^\circ$ auf $4,17^\circ$. Der RMSE der KG bleibt nahezu unverändert (Pretest, $5,84^\circ$, Posttest $5,78^\circ$; Tab. 9, Abb. 39). Die Leistungsveränderung unterscheidet sich in zwischen den Gruppen, der Interaktionseffekt MZP x VG ist signifikant, $F(1, 22) = 7.63$; $p_{\text{adj}} = .006$; $\eta^2_p = .26$. Dieser ist durch die signifikante Reduktion des RMSE in VG_{Standard} , $t(11) = 3.28$, $p_{\text{adj}} = .007$, bei unverändertem RMSE in der KG, $t(11) = 0.16$, $p_{\text{adj}} > .999$, begründet. OH2a2 wird damit bestätigt.

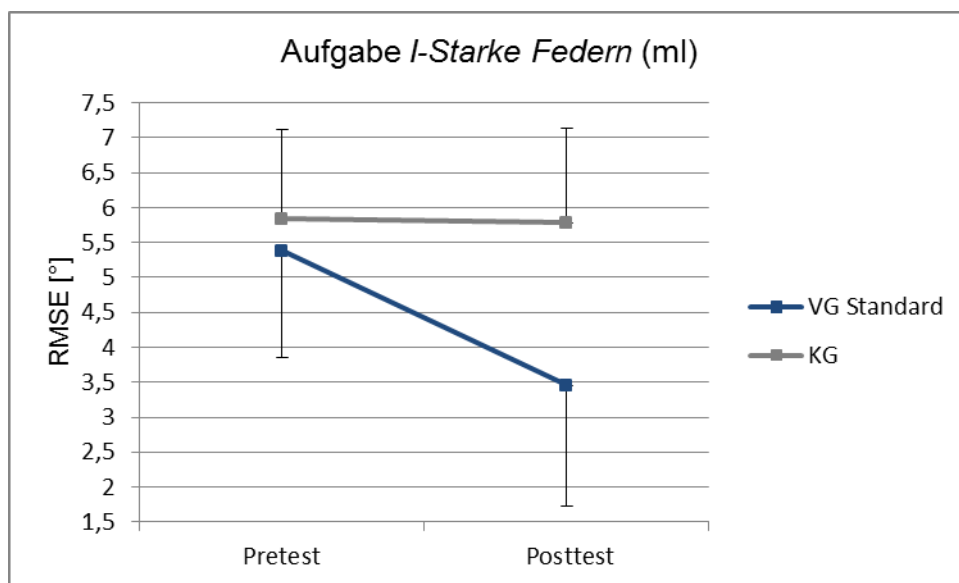


Abb. 39 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Starke Federn* (ml) in der VG_{Standard} und der KG.

OH2b1: $VG_{\text{Starke Federn}}$ reduziert Aufgabe *I-Standard* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

$VG_{\text{Starke Federn}}$ reduziert den RMSE in der ap-Achse bei der Aufgabe *I-Standard*, in der Federn mit geringerer Federrkonstante eingesetzt waren, von $7,84^\circ$ auf $7,13^\circ$, die KG erhöht RMSE von $7,78^\circ$ auf $8,11^\circ$ (Tab. 9, Abb. 40). Die Veränderung des RMSEs vom Pretest zum Posttest unterscheidet sich signifikant zwischen den Gruppen, Interaktionseffekt MZP x VG, $F(1, 22) = 12.27$; $p_{adj} = .001$; $\eta^2_p = .36$. Dieser kann durch die signifikante Verbesserung der $VG_{\text{Starke Federn}}$, $t(11) = 2.87$, $p_{adj} = .015$, ohne signifikante Veränderung in der KG, $t(11) = -2.01$, $p_{adj} = .140$, erklärt werden. OH2b1 wird bestätigt.

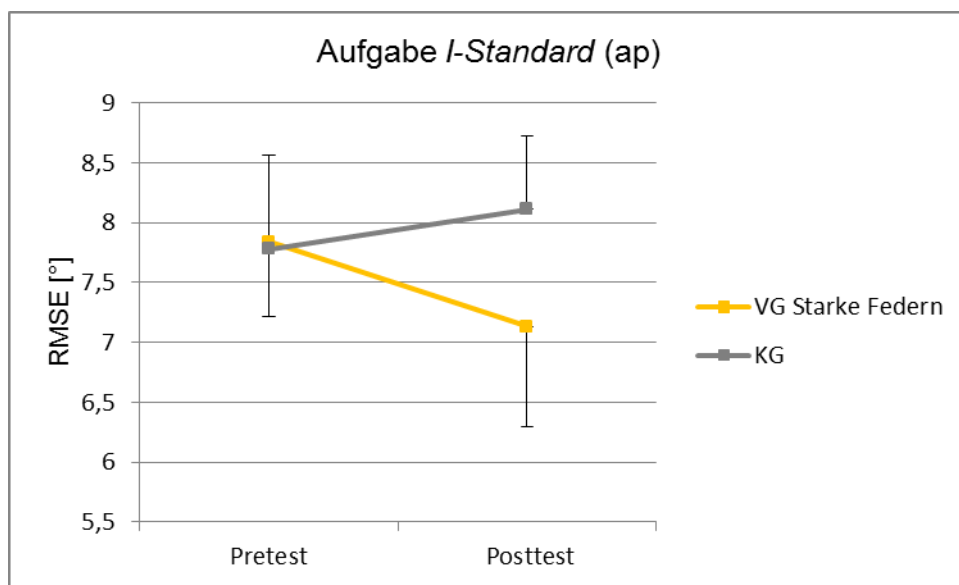


Abb. 40 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Standard* (ap) in der $VG_{\text{Starke Federn}}$ und der KG.

OH2b2: $VG_{\text{Starke Federn}}$ reduziert Aufgabe *I-Standard* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

$VG_{\text{Starke Federn}}$ reduziert den RMSE bei der Aufgabe *I-Standard* auch in der ml-Achse (Pretest, 5,90°, Posttest, 4,96°). Die KG hat beim Posttest (6,64°) einen höheren RMSE als beim Pretest (6,34°; Tab. 9, Abb. 41). Die Leistungsveränderung unterscheidet sich signifikant zwischen den Gruppen, Interaktionseffekt MZP x VG, $F(1, 22) = 9.49$; $p_{adj} = .003$; $\eta^2_p = .30$. Die Interaktion liegt an der signifikanten Verbesserung der $VG_{\text{Starke Federn}}$, $t(11) = 3.31$, $p_{adj} = .007$, bei nicht signifikanter Veränderung der KG, $t(11) = -1.05$, $p_{adj} = .635$. OH2b2 kann somit bestätigt werden.

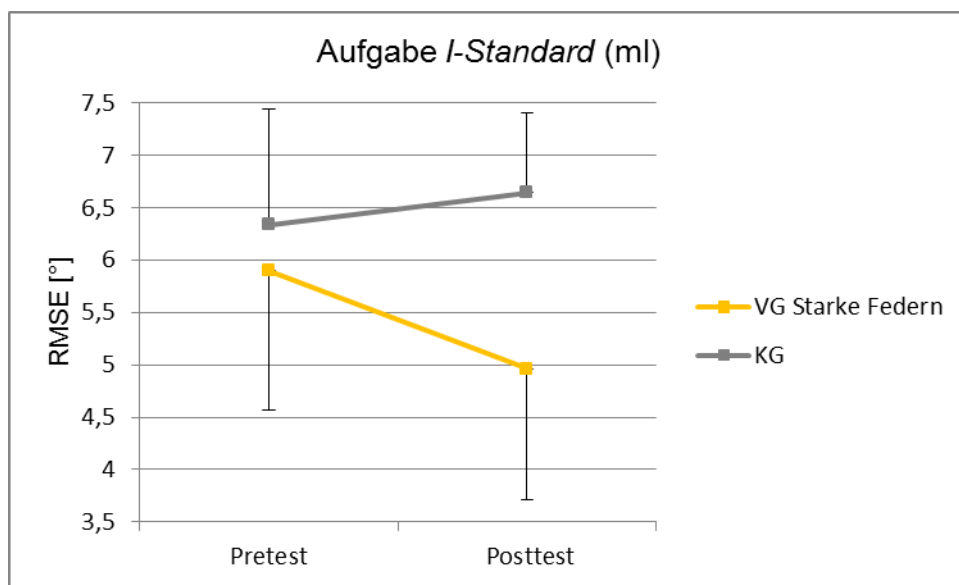


Abb. 41 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Standard* (ml) in der $VG_{\text{Starke Federn}}$ und der KG.

3.4.3.3 Transfer auf Aufgaben mit gleicher freigegebener Achse

OH3a1: VG_{Standard} reduziert bei Aufgabe *I-ap* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

VG_{Standard} reduziert den RMSE in der ap-Achse bei der Aufgabe *I-ap*, in der im Gegensatz zur Übungsaufgabe *I-Standard* die ml-Achse arretiert war, von $6,82^\circ$ auf $6,28^\circ$, der RMSE der KG verändert sich von $7,45^\circ$ auf $7,38^\circ$ (Tab. 9, Abb 42). Die Veränderung des RMSEs vom Pretest zum Posttest unterscheidet sich allerdings nicht signifikant, Interaktionseffekt MZP x VG, $F(1, 22) = 2.32$; $p_{\text{adj}} = .142$; $\eta^2_p = .10$, was an der knapp nicht signifikanten Verbesserung der VG_{Standard} , $t(11) = 2.14$, $p_{\text{adj}} = .055$, bei konstanten Leistungen der KG, $t(11) = 0.40$, $p_{\text{adj}} > .999$, liegt. OH3a1 muss deshalb abgelehnt werden.

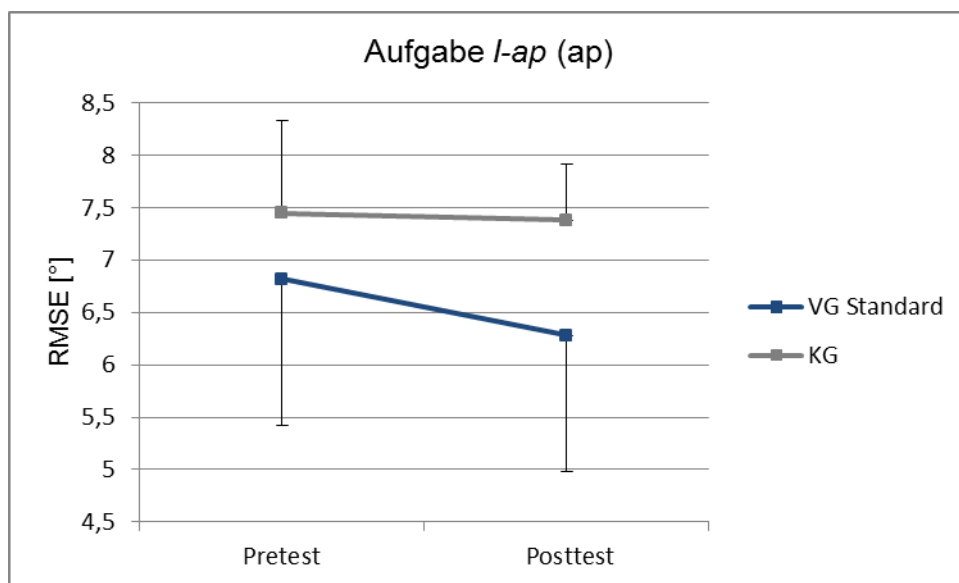


Abb. 42 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-ap* (ap) in der VG_{Standard} und der KG.

OH3a2: $VG_{Standard}$ reduziert bei Aufgabe *I-ml* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

$VG_{Standard}$ reduziert den RMSE in der ml-Achse bei der Aufgabe *I-ml* von $5,21^\circ$ auf $4,17^\circ$. In der KG erhöht sich der RMSE $5,67^\circ$ auf $6,01^\circ$ (Tab. 9, Abb. 43). Die Entwicklung des RMSEs zwischen Pretest und Posttest unterscheidet sich signifikant, Interaktionseffekt MZP x VG, $F(1, 22) = 14.40$; $p_{adj} = .001$; $\eta^2_p = .40$. Diese signifikante Interaktion ist durch die signifikante Reduktion des RMSEs in der $VG_{Standard}$, $t(11) = 3.45$, $p_{adj} = .005$, und die nicht signifikante Steigerung des RMSEs in der KG, $t(11) = -1.68$, $p_{adj} = .243$, zu erklären. OH3a2 wird dadurch bestätigt.

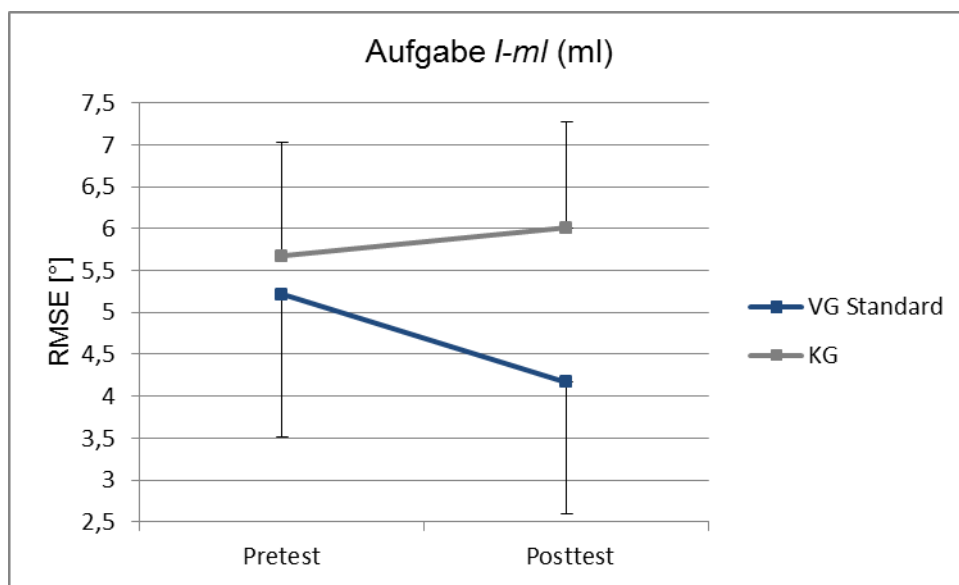


Abb. 43 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-ml* (ml) in der $VG_{Standard}$ und der KG.

OH3b1: VG_{ap} reduziert bei Aufgabe *I-Standard* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

VG_{ap} reduziert den RMSE in der ap-Achse bei der Aufgabe *I-Standard*, die sich von der geübten Aufgabe *I-ap* dadurch unterscheidet, dass die ml-Achse ebenfalls freigegeben ist, von $7,65^\circ$ auf $7,36^\circ$, der RMSE der KG erhöht sich von

7,78° auf 8,11° (Tab. 9, Abb. 44). Die Veränderung des RMSEs vom Pretest zum Posttest unterscheiden sich signifikant, Interaktionseffekt MZP x VG, $F(1, 22) = 5.85$; $p_{adj} = .024$; $\eta^2_p = .21$. Diese Interaktion kann allerdings nicht zweifelsfrei als Transfer interpretiert werden, da sich der RMSE der VG_{ap} nicht signifikant reduziert, $t(11) = 1.47$, $p_{adj} = .171$, und die Leistungen der KG sich nicht signifikant verschlechtern, $t(11) = -2.01$, $p_{adj} = .140$. Erst durch die beiden entgegengesetzten nicht signifikanten Veränderungen wird eine unterschiedliche Veränderung festgestellt. Die vor dem Pretest durchgeführte Aneignungsphase könnte sich positiv auf die Pretestleistungen ausgewirkt haben, die Posttestleistungen aufgrund des großen zeitlichen Abstands dagegen nur geringfügig. Falls das in beiden Gruppen der Fall wäre, könnte der signifikante Interaktionseffekt als Transfer interpretiert werden. Die vorgeschaltete Aneignungsphase könnte aber auch die Leistung in den beiden Gruppen unterschiedlich beeinflusst haben. Das kann in diesem Experiment aber nicht überprüft werden, da kein *Solomon Viergruppenplan* (Kap. 3.1.7.1) durchgeführt wurde. *Deshalb kann die Hypothese OH3b1 nur mit Einschränkungen der internen Validität bestätigt werden.*

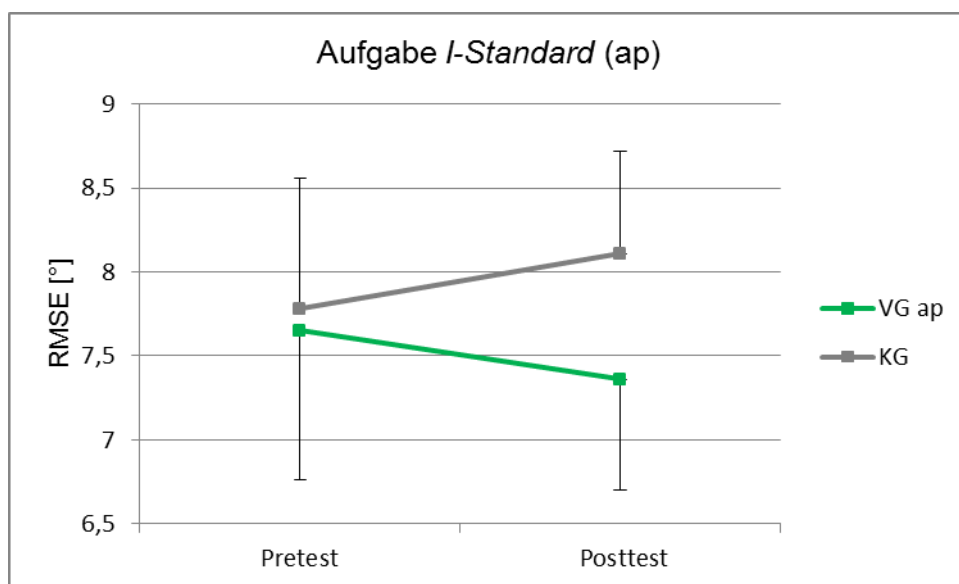


Abb. 44 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe I-Standard (ap) in der VG_{ap} und der KG.

OH3b2: VG_{ml} reduziert bei Aufgabe *I-Standard* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

VG_{ml} reduziert den RMSE in der ml-Achse bei der Aufgabe *I-Standard*, bei der im Vergleich zur geübten Aufgabe zusätzlich die ap-Achse freigegeben ist, von $6,51^\circ$ auf $6,22^\circ$, der RMSE der KG steigt leicht von $6,34^\circ$ auf $6,64^\circ$ (Tab. 9, Abb. 45). Die Veränderung des RMSEs vom Pretest zum Posttest unterscheidet sich allerdings nicht signifikant zwischen den beiden Gruppen, Interaktionseffekt $MZP \times VG$, $F(1, 22) = 2.20$; $p_{adj} = .152$; $\eta^2_p = .09$. Weder für die VG_{ml} noch für die KG wird der T-Test für abhängige Stichproben zwischen Pretest und Posttest signifikant, VG_{ap} , $t(11) = 1.07$, $p_{adj} = .307$, KG, $t(11) = -1.05$, $p_{adj} = .635$. *OH3b2 muss abgelehnt werden.*

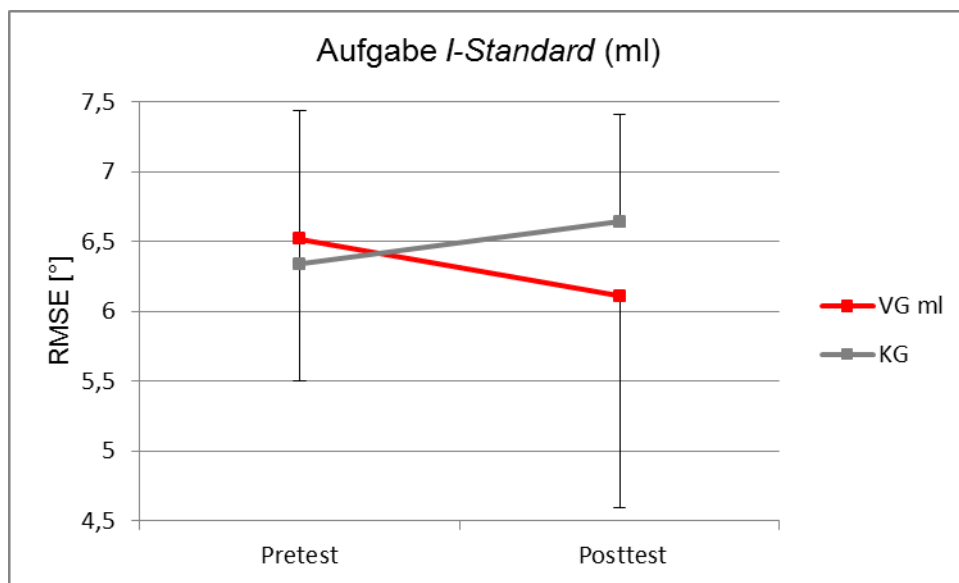


Abb. 45 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Standard* (ml) in der VG_{ml} und der KG.

3.4.3.4 Transfer auf Aufgaben mit einer zusätzlich freigegebenen Achse

OH4a: VG_{ap} reduziert bei Aufgabe *I-Standard* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

VG_{ap} reduziert den RMSE in der ml-Achse bei der Aufgabe *I-Standard* von $6,10^\circ$ auf $5,74^\circ$. Der Unterschied in dieser Aufgabe gegenüber der Übungsaufgabe dieser VG liegt daran, dass die ml-Achse bei der Übungsaufgabe *I-ap* arretiert war. In der KG steigt der RMSE der von $6,34^\circ$ auf $6,64^\circ$ an (Tab. 9, Abb. 46). Der Interaktionseffekt MZP x VG unterschreitet das für Prüfung von Nullhypothesen als Wunschhypothesen festgelegte Signifikanzniveau $p > .200$, $F(1, 22) = 2.42$; $p = .134$; $\eta^2_p = .10$, auch wenn beide T-Tests für abhängige Stichproben einen p -Wert von $> .200$ haben, VG_{ap} , $t(11) = 1.15$, $p_{adj} = .275$, KG, $t(11) = -1.05$, $p = .318$. Aufgrund der Interaktion kann OH4a nicht bestätigt werden.

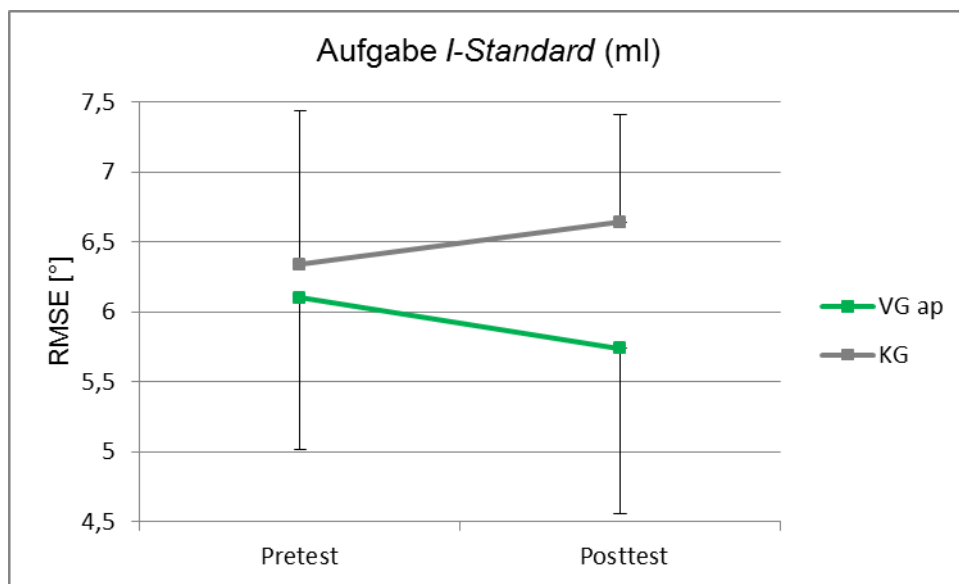


Abb. 46 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Standard* (ml) in der VG_{ap} und der KG.

OH4b: VG_{ap} reduziert bei Aufgabe *I-ml* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

VG_{ap} verändert bei der Aufgabe *I-ml* den RMSE kaum (Pretest, $5,48^\circ$, Posttest, $5,47^\circ$). In der KG steigt der RMSE von $5,67^\circ$ auf $6,01^\circ$ an (Tab. 9, Abb. 47). Der Interaktionseffekt MZP x VG zeigt keinen Unterschied in der Veränderung der beiden Gruppen an, $F(1, 22) = 0.72$; $p = .405$; $\eta^2_p = .03$. Die T-Tests für abhängige Stichproben zeigen, dass sich der RMSE in VG_{ap} , nicht verändert hat, $t(11) = 1.15$, $p = .275$, und in der KG nicht auf einem Signifikanzniveau von $p > .200$ gezeigt werden kann, dass sich die Leistung nicht verändert hat, $t(11) = -1.68$, $p = .121$. Aufgrund der nicht signifikanten Interaktion und des nicht signifikanten T-Tests für VG_{ap} kann OH4b bestätigt werden.

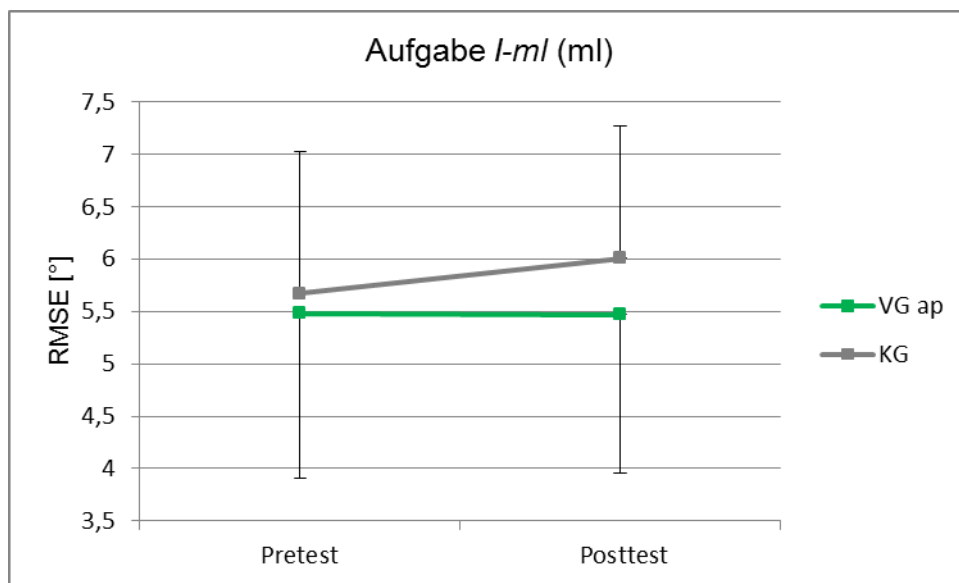


Abb. 47 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-ml* (ml) in der VG_{ap} und der KG.

OH4c: VG_{ml} reduziert bei Aufgabe *I-Standard* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

VG_{ml} reduziert bei der Aufgabe *I-Standard* den RMSE in der ap-Achse kaum von $7,80^\circ$ auf $7,74^\circ$. In der KG steigt der RMSE von $7,78^\circ$ auf $8,11^\circ$ (Tab. 9, Abb. 48). Der Interaktionseffekt MZP x VG hat einen p -Wert, der kleiner als .200 ist, $F(1, 22) = 2.20$; $p = .152$; $\eta^2_p = .09$. Die T-Tests für abhängige Stichproben deuten darauf hin, dass das an der leichten Steigerung des RMSEs in der KG, $t(11) = -2.01$, $p = .070$, und der unveränderten Leistung in VG_{ml} , $t(11) = 0.30$, $p = .774$. Trotz des unveränderten RMSEs in VG_{ml} kann nicht ausgeschlossen werden, dass ein Pretesteffekt (Kap. 3.1.7.1) eine tatsächlich vorliegende Leistungssteigerung überlagert. *Deswegen muss OH4c verworfen werden.*

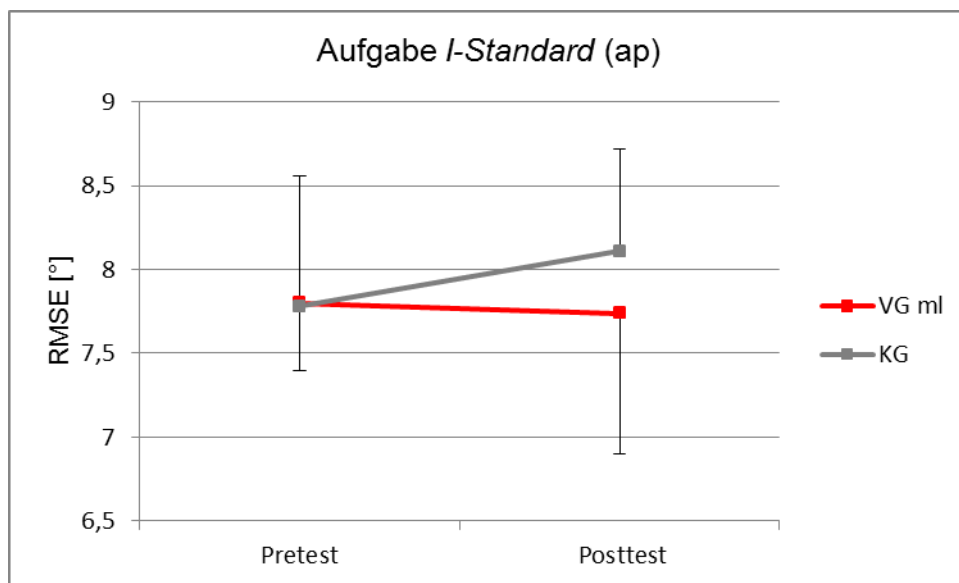


Abb. 48 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Standard* (ap) in der VG_{ml} und der KG.

OH4d: VG_{ml} reduziert bei Aufgabe *I-ap* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

VG_{ml} reduziert bei der Aufgabe *I-ap* den RMSE von 7,25° auf 6,97°, die KG von 7,45° auf 7,38° (Tab. 9, Abb. 49). Der Interaktionseffekt MZP x VG deutet darauf hin, dass die Gruppen ihren RMSE nicht unterschiedlich verändern, $F(1, 22) = 0.39$; $p = .539$; $\eta^2_p = .02$. Die T-Tests für abhängige Stichproben zeigen, dass keine der beiden Gruppen die Leistung verändert hat, VG_{ml}, $t(11) = 1.00$, $p = .337$, KG, $t(11) = 0.40$, $p = .696$. *OH4d wird bestätigt.*

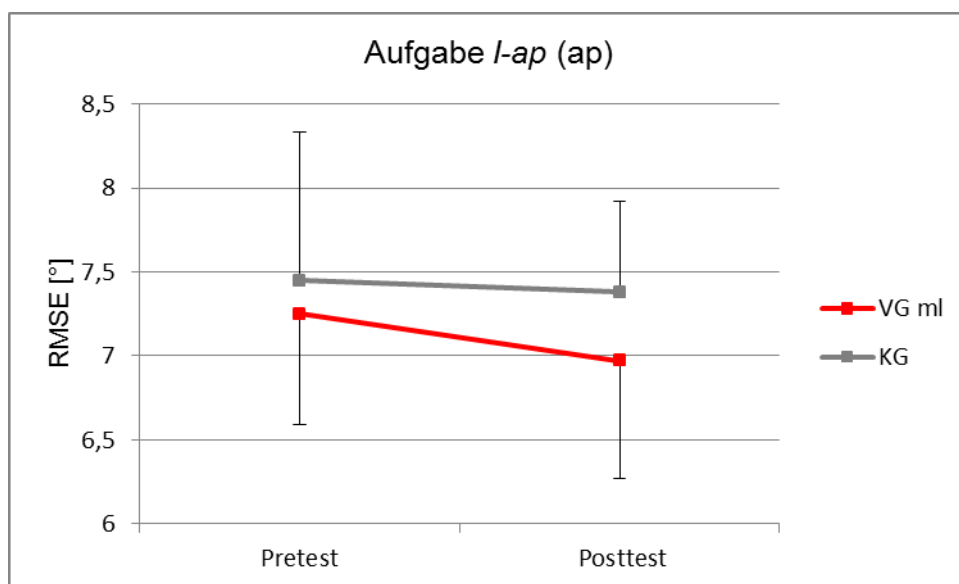


Abb. 49 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-ap* (ap) in der VG_{ml} und der KG.

3.4.3.5 Transfer auf Aufgaben auf Stabilometer II

OH5a: VG_{Standard} reduziert bei Aufgabe *II-ml* den RMSE vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

VG_{Standard} reduziert bei der Aufgabe *II-ml* den RMSE von $8,07^\circ$ auf $6,77^\circ$. Die KG erhöht dagegen der RMSE von $9,47^\circ$ auf $10,31^\circ$ (Tab. 9, Abb. 50). Der Interaktionseffekt $MZP \times VG$ verfehlt einen p -Wert von $> .200$ deutlich, $F(1, 22) = 14.40$; $p = .053$; $\eta^2_p = .16$. Auch die Vergleiche zwischen Pretest und Posttest in den einzelnen Gruppen zeigen nicht, dass sich die Leistung nicht verändert, VG_{Standard} , $t(11) = 1.90$, $p = .084$, KG, $t(11) = -1.06$, $p = .312$. OH5a wird abgelehnt.

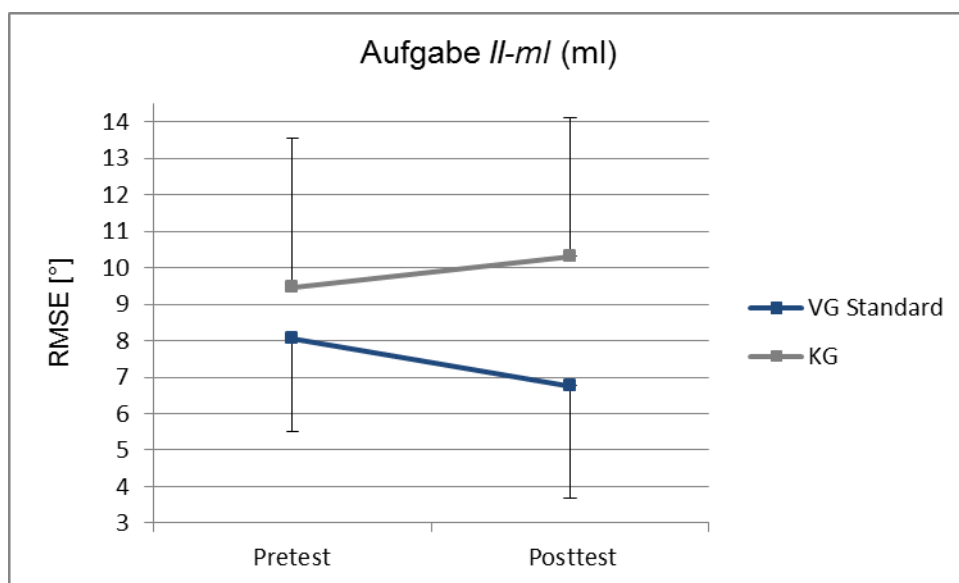


Abb. 50 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *II-ml* (ml) in der VG_{Standard} und der KG.

OH5b: $VG_{\text{Starke Federn}}$ reduziert bei Aufgabe *II-ml* den RMSE vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

$VG_{\text{Starke Federn}}$ reduziert bei der Aufgabe *II-ml* den RMSE von $9,71^\circ$ auf $8,85^\circ$. Die KG erhöht den RMSE von $9,47^\circ$ auf $10,31^\circ$ (Tab. 9, Abb. 51). Der Interaktionseffekt MZP x VG verfehlt einen p -Wert von $> .200$ knapp, $F(1, 22) = 2.14$; $p = .158$; $\eta^2_p = .09$. Die Vergleiche zwischen Pretest und Posttest in den einzelnen Gruppen weisen darauf hin, dass sich die Leistung jeweils nicht verändert hat, $VG_{\text{Starke Federn}}$, $t(11) = 1.01$, $p = .333$, KG, $t(11) = -1.06$, $p = .312$. Die gegensätzliche Tendenz scheint dafür verantwortlich zu sein, dass die Interaktionsprüfung nicht hypothesenkonform ausgeht. *Trotzdem muss OH5b verworfen werden.*

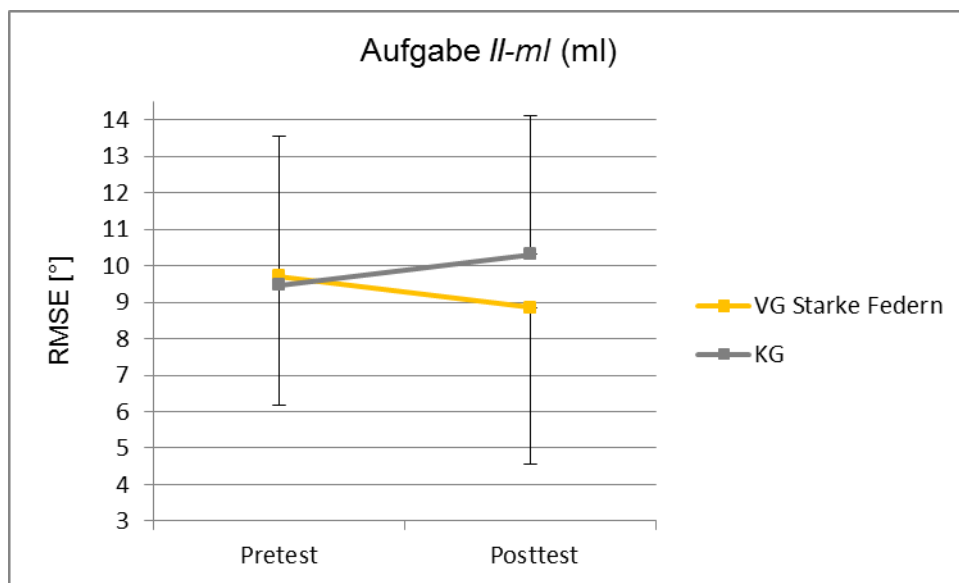


Abb. 51 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *II-ml* (ml) in der $VG_{\text{Starke Federn}}$ und der KG.

OH5c: VG_{ap} reduziert bei Aufgabe *II-ml* den RMSE vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

In VG_{ap} bleibt der RMSE bei der Aufgabe *II-ml* nahezu unverändert (Pretest, $9,35^\circ$, Posttest $9,36^\circ$). Die KG erhöht der RMSE von $9,47^\circ$ auf $10,31^\circ$ (Tab. 9, Abb. 52). Wie erwartet, weist der Interaktionseffekt MZP x VG darauf hin, dass sich die Leistungsveränderung in den Gruppen nicht unterscheidet, $F(1, 22) = 0.64$; $p = .431$; $\eta^2_p = .03$. Das liegt daran, dass beide Gruppen den RMSE zwischen Pretest und Posttest nicht verändern, VG_{ap} , $t(11) = -0.01$, $p = .989$, KG, $t(11) = -1.06$, $p = .312$. *OH5c wird bestätigt.*

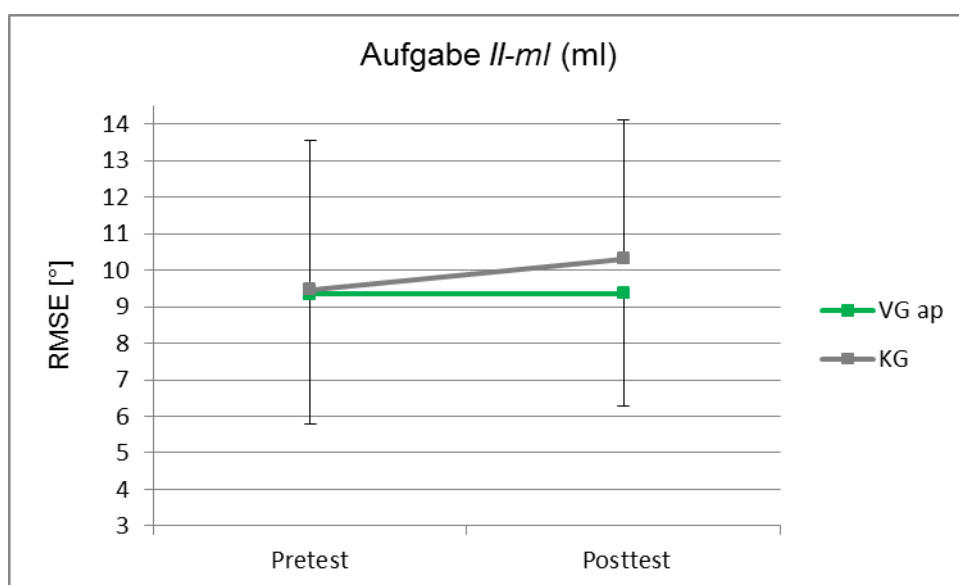


Abb. 52 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *II-ml* (ml) in der VG_{ap} und der KG.

OH5d: VG_{ml} reduziert bei Aufgabe *II-ml* den RMSE vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

VG_{ml} reduziert bei der Aufgabe *II-ml* den RMSE von $8,90^\circ$ auf $6,71^\circ$. Die KG erhöht den RMSE von $9,47^\circ$ auf $10,31^\circ$ (Tab. 9, Abb. 53). Anders als erwartet, zeigt sich eine signifikant unterschiedliche Veränderung in den beiden Gruppen, Interaktionseffekt MZP $\times$ VG, $F(1, 22) = 5.88$, $p = .024$, $\eta^2_p = .21$. Dieser kann durch die tendenzielle Reduktion des RMSEs in VG_{ml} , $t(11) = 2.27$, $p = .088$, bei unverändertem RMSE in der KG, $t(11) = -1.06$, $p = .312$, erklärt werden. *OH5c wird abgelehnt.*

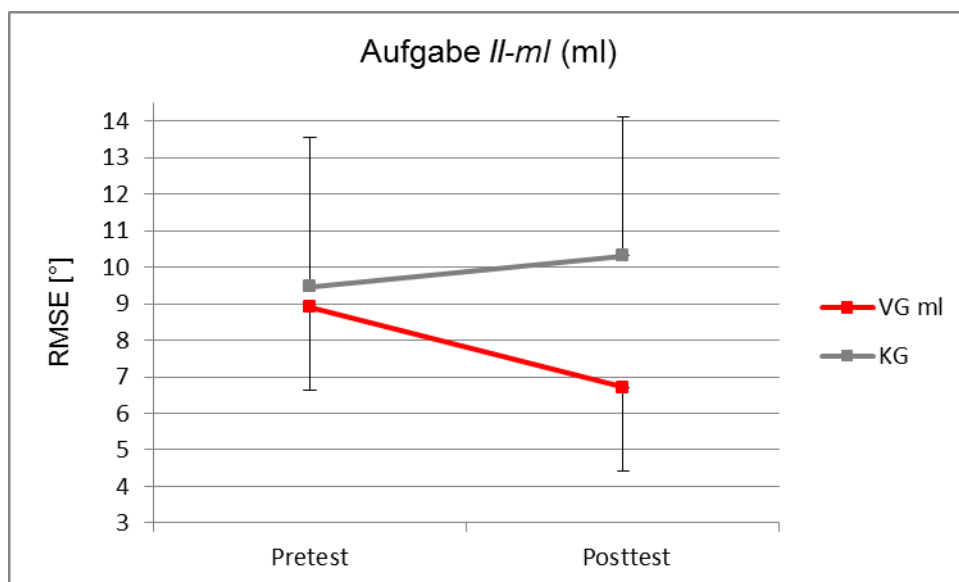


Abb. 53 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *II-ml* (ml) in der VG_{ml} und der KG.

OH5e: VG_{Blind} reduziert bei Aufgabe *II-Blind* den RMSE vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

VG_{Blind} reduziert bei der Aufgabe *II-Blind* den RMSE von $15,08^\circ$ auf $14,72^\circ$. Die KG erhöht den RMSE von $14,61^\circ$ auf $15,07^\circ$ (Tab. 9, Abb. 54). Der Interaktionseffekt MZP x VG verfehlt die Erwartung eines p -Werts von $> .200$ knapp, $F(1, 22) = 1.79$; $p = .194$; $\eta^2_p = .08$. Die Vergleiche zwischen Pretest und Posttest in den einzelnen Gruppen weisen darauf hin, dass sich die Leistung jeweils nicht verändert hat, VG_{Blind} , $t(11) = 0.79$, $p = .448$, KG, $t(11) = -1.14$, $p = .279$. Trotzdem muss OH5d aufgrund des Interaktionseffekts mit $p < .200$ verworfen werden.

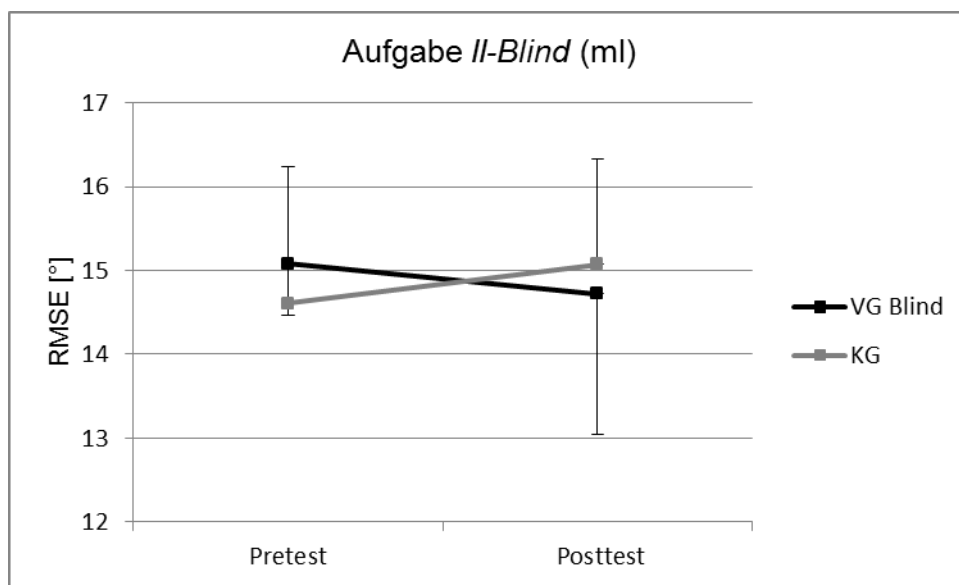


Abb. 54 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *II-Blind* (ml) in der VG_{Blind} und der KG.

3.4.3.6 Transfer auf Aufgaben mit veränderter Verfügbarkeit visueller Information

OH6a1: $VG_{\text{Starke Federn}}$ reduziert bei Aufgabe *I-Blind* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

In $VG_{\text{Starke Federn}}$ steigt der RMSE in der ap-Achse bei der Aufgabe *I-Blind*, die sich von der geübten Aufgabe *I-Starke Federn* nur durch das Tragen der verdunkelten Brille unterscheidet, von $8,51^\circ$ auf $8,65^\circ$. In der KG bleibt er unverändert bei $8,39^\circ$ (Tab. 9, Abb. 55). Der Interaktionseffekt MZP x VG zeigt, dass sich die beiden Gruppen nicht unterschiedlich verändern, $F(1, 22) = 0.64$; $p = .432$; $\eta^2_p = .03$. Die Vergleiche zwischen Pretest und Posttest in den einzelnen Gruppen erklären das damit, dass beide Gruppen den RMSE nicht verändern, $VG_{\text{Starke Federn}}, t(11) = -0.98, p = .349$, KG, $t(11) = 0.07, p = .943$. OH6a1 wird bestätigt.

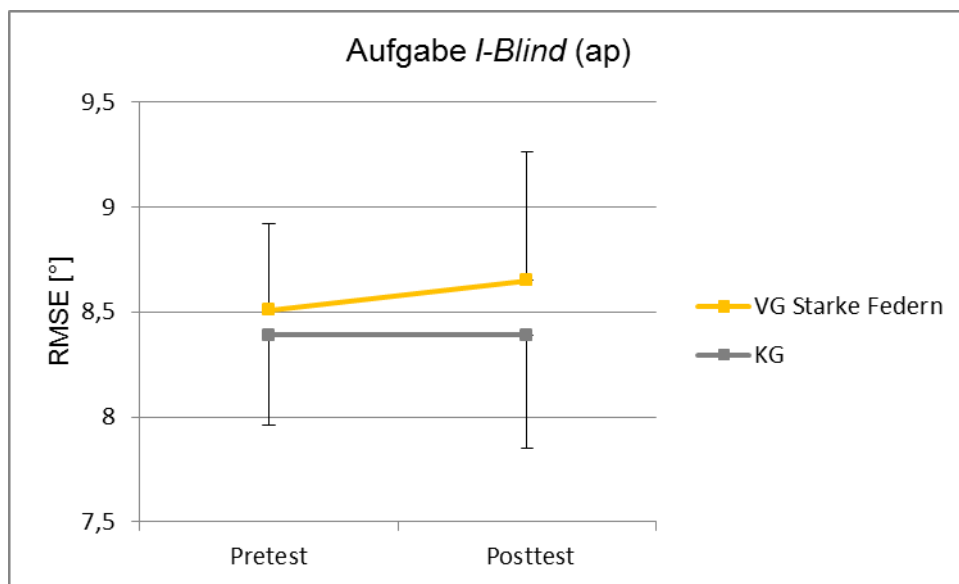


Abb. 55 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Blind* (ap) in der $VG_{\text{Starke Federn}}$ und der KG.

OH6a2: $VG_{\text{Starke Federn}}$ reduziert bei Aufgabe *I-Blind* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

$VG_{\text{Starke Federn}}$ erhöht den RMSE in der ml-Achse bei der Aufgabe *I-Blind* von $7,80^\circ$ auf $8,13^\circ$. In der KG steigt der RMSE von $7,36^\circ$ auf $8,02^\circ$ (Tab. 9, Abb. 56). Der Interaktionseffekt MZP x VG weist auf eine gleichförmige Entwicklung des RMSEs in beiden Gruppen hin, $F(1, 22) = 1.22$; $p = .282$; $\eta^2_p = .05$. Dieses ist durch die Leistungseinbußen in beiden Gruppen zu erklären, $VG_{\text{Starke Federn}}$, $t(11) = -2.27$, $p = .044$, KG, $t(11) = -2.47$, $p = .031$. OH6a1 wird damit bestätigt.

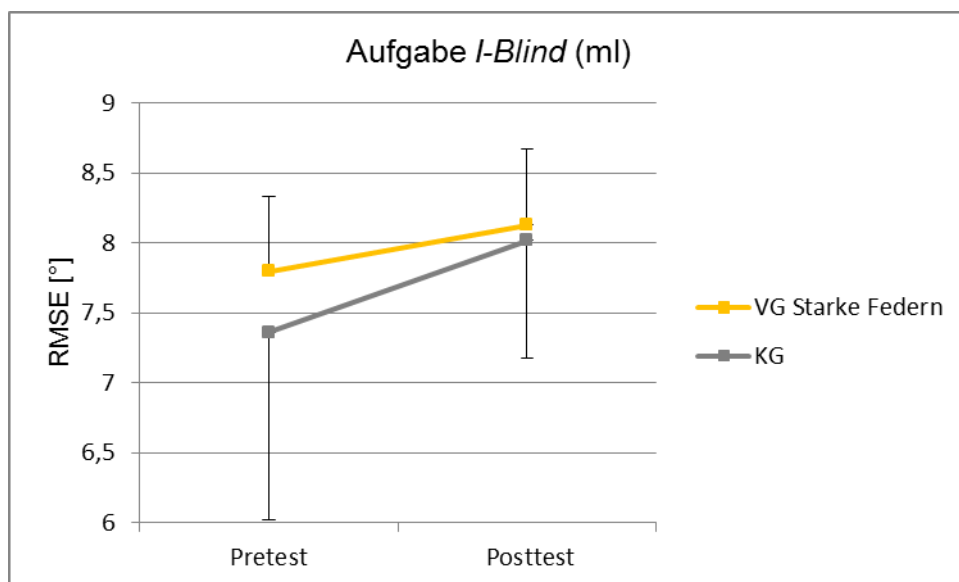


Abb. 56 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Blind* (ml) in der $VG_{\text{Starke Federn}}$ und der KG.

OH6b1: VG_{Blind} reduziert bei Aufgabe *I-Starke Federn* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

VG_{Blind} erreicht bei der Aufgabe *I-Starke Federn*, die sich von der Übungsaufgabe *I-Blind* dadurch unterschied, dass die verdunkelte Brille nicht getragen werden musste, in der ap-Achse beim Pretest ($7,02^\circ$) einen niedrigeren RMSE als beim Posttest ($7,48^\circ$), in der KG steigt der RMSE von $7,18^\circ$ auf $7,43^\circ$ (Tab. 9, Abb. 57). Der Interaktionseffekt MZP x VG weist darauf hin, dass sich die Veränderungen des RMSEs vom Pretest zum Posttest in den beiden Gruppen nicht unterscheidet, $F(1, 22) = 0.18$; $p = .674$; $\eta^2_p = .01$. Die Vergleiche zwischen Pretest und Posttest zeigen, dass der RMSE in beiden Gruppen unverändert bleibt, VG_{Blind} , $t(11) = -1.20$, $p = .256$, KG, $t(11) = -0.86$, $p = .407$. *OH6b1 wird bestätigt.*

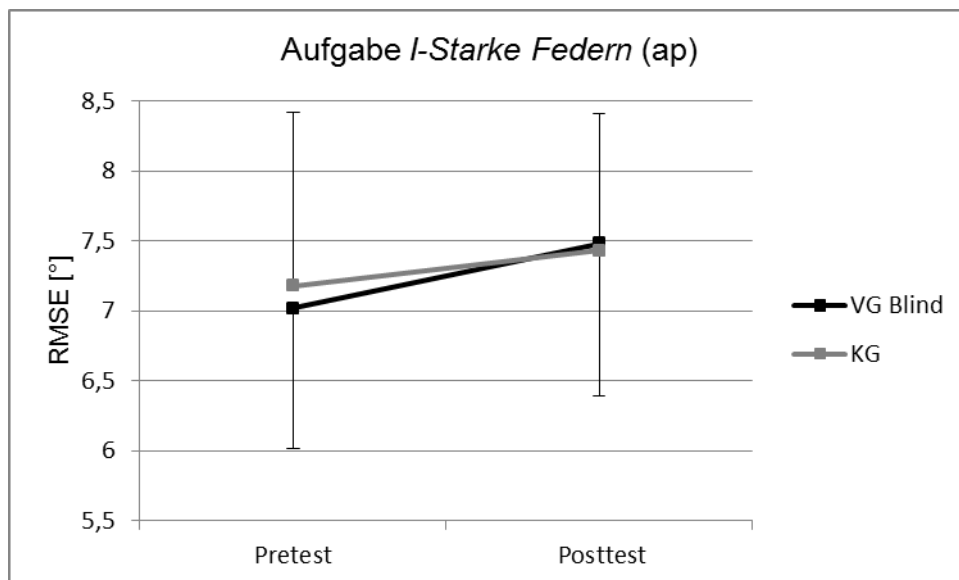


Abb. 57 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Starke Federn* (ap) in der VG_{Blind} und der KG.

OH6b2: VG_{Blind} reduziert bei Aufgabe *I-Starke Federn* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

VG_{Blind} reduziert den RMSE Aufgabe *I-Starke Federn* in der ml-Achse von $5,57^\circ$ auf $4,54^\circ$, die Leistung der KG verändert sich von $5,84^\circ$ auf $5,78^\circ$ (Tab. 9, Abb. 58). Aufgrund des Interaktionseffekts MZP x VG mit $p < .200$, $F(1, 22) = 2.96$; $p = .100$; $\eta^2_p = .12$, kann eine nicht unterschiedliche Entwicklung nicht bestätigt werden. Die Vergleiche zwischen Pretest und Posttest weisen darauf hin, dass diese Interaktion durch die Reduktion des RMSEs in der VG_{Blind} , $t(11) = 2.27$, $p = .044$, bei unverändertem RMSE in der KG, $t(11) = 0.16$, $p = .874$, zustande kommt *OH6b2 muss abgelehnt werden*.

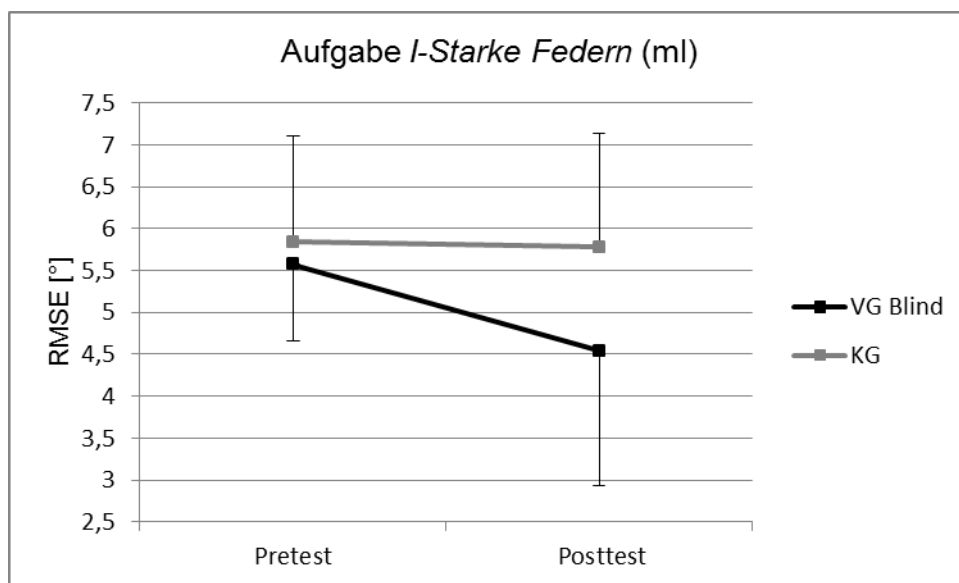


Abb. 58 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *I-Starke Federn* (ml) in der VG_{Blind} und der KG.

3.5 Diskussion der Ergebnisse von Experiment 1

Die Prüfungen der operationalisierten Forschungshypothesen werden in den folgenden Kapiteln jeweils zusammengefasst diskutiert. Aus den allgemeinen Forschungshypothesen lässt sich ableiten, dass bei Aufgaben mit gleicher Art und Bedeutung der beteiligten posturalen Synergien und mit gleicher Art und

Bedeutung der beteiligten sensorischen Teilsysteme, positiver Transfer zu erwarten ist. Demnach sollte sich aufgabenspezifisches Lernen (OH1, Kap. 3.5.1) und Transfer auf Aufgaben mit veränderter Federkonstante (OH2, Kap. 3.5.2) bestätigen. Zusätzlich wären Reduktionen der RMSEs in den Achsen, die bei der Übungsaufgabe freigegeben waren, bei Aufgaben mit einer zusätzlich freigegebenen oder arretierten Achse zu erwarten (OH3, 3.5.3). Um einen erwarteten Transfer zu bestätigen, ist es notwendig, dass der Interaktionseffekt MZP (Pretest, Posttest) $\times$ VG (Interventionsgruppe, KG) signifikant ist. Da sich der Einfluss der vorgeschalteten Aneignungsphase auf die Posttestergebnisse in den VGn und der KG unterscheiden könnte, muss weiterhin der T-Test für abhängige Stichproben in der VG signifikant sein.

Nach den allgemeinen Forschungshypothesen wäre dagegen nicht zu erwarten, dass der RMSE in derjenigen Achse reduziert werden kann, die bei der Übungsaufgabe arretiert war (OH4, Kap. 3.5.4). Außerdem wird kein Transfer auf Aufgaben, die auf einem Stabilometer mit verändertem Abstand zwischen Standfläche und Rotationsachse (Stabilometer II) durchgeführt wurden, vorhergesagt (OH5, Kap. 3.5.5). Schließlich sollte das Tragen einer verdunkelten Brille die Art und Bedeutung der beteiligten sensorischen Teilsysteme so stark beeinflussen, dass kein Transfer zwischen den Aufgaben mit veränderten visuellen Bedingungen zu erwarten ist (OH6, Kap. 3.5.6). Zur Prüfung dieser *Nicht-Unterschiedshypothesen* muss der p-Wert des Interaktionseffekts MZP (Pretest, Posttest) $\times$ VG (Interventionsgruppe, KG) größer als .200 sein, außerdem darf in der VG keine signifikante Leistungssteigerung vorliegen.

3.5.1 OH1 Aufgabenspezifisches Lernen

Die statistische Prüfung der Hypothesen zum aufgabenspezifischen Lernen (Kap. 3.4.3.1) bestätigt die Hypothesen fast durchgängig. Insgesamt scheint es den VPn zu gelingen, die Leistungen bei der jeweils geübten Aufgabe zu verbessern. In allen VGn konnten in mindestens einer Achse signifikant größere Reduktionen des RMSEs erreicht werden als in der KG.

Die einzige Ausnahme ist VG_{Blind}, die keine Leistungsverbesserung bezüglich der Abweichungen in der ap-Achse zeigen konnte (OH1c1). Schon beim Pretest

erreichten die VPn einen im Vergleich zur maximalen Amplitude des Stabilometers relativ großen RMSE von $8,56^\circ$, den sie zum Posttest ($8,71^\circ$) nicht reduzieren konnten. Diese großen Abweichungen lassen vermuten, dass es sich in diesem Fall um einen Bodeneffekt (Bortz & Döring, 2006, S. 558) handeln könnte. Diese Vermutung wird durch die Beobachtung von Ivanenko et al. (1997) gestützt, dass keine VPn mit geschlossenen Augen auf einem Wackelbrett balancieren konnte, dessen Höhe größer war als dessen Radius (vgl. Kap. 2.2.4.3). Auf diesen Wackelbrettern verringert sich der Abstand zwischen der Projektion des Sprunggelenks und dem Kontaktpunkt des Wackelbretts auf dem Fußboden. Auf dem Stabilometer I muss der KSP lotrecht oberhalb der Rotationsachse liegen, damit sich das Stabilometer nicht bewegt. Bei einer Vorwärtsrotation der Standfläche reduziert sich auch hier der Abstand zwischen Sprunggelenk und Rotationsachse, wenn sich das Sprunggelenk auf Höhe der Rotationsachse oder darüber befindet.

Für einen Bodeneffekt könnten zwei Erklärungen in Frage kommen. Erstens könnten die VPn beim Üben der Aufgabe *I-Blind* die Bedeutung der Abweichungen in der ml-Achse höher einschätzen und deshalb zunächst versuchen diese Abweichungen zu reduzieren. Es könnte sein, dass sie erst versuchen auch die Abweichungen in der ap-Achse zu reduzieren, wenn die Abweichungen in der ml-Achse in einer für die VPn akzeptablen Bandbreite liegen. Dies könnte möglicherweise in den vier Übungswochen noch nicht erreicht worden oder erst in den letzten Übungseinheiten eingetreten sein, sodass keine Reduktion der Abweichungen in der ap-Achse zu beobachten war.

Der zweite Erklärungsansatz, der vom Autoren dieser Arbeit favorisiert wird, berücksichtigt, dass die visuelle Information richtungsabhängig eine unterschiedliche Bedeutung für die Regulation des Gleichgewichts haben könnte. Diese Erklärung wird durch Befunde von O'Connor und Kuo (2009) gestützt. Sie setzten die VPn in ihrem Experiment visuellen Störungen in anterior-posterior (ap) und in medial-lateral (ml) aus. Im Tandemstand, mit hintereinander gesetzten Füßen, führten Schwankungen der virtuellen Umgebung in ml zu stärkeren Schwankungen, als Störungen in ap. Im Parallelstand, mit nebeneinander gesetzten Füßen, kehrte sich dieser Effekt um. Demnach scheint das visuelle Sys-

tem nicht in einer Richtung genauer wahrnehmen zu können, vielmehr scheint die Bedeutung der visuellen Information aufgabenabhängig zu sein. Die Autoren erklären ihre Befunde mit der unterschiedlichen Ausdehnung der Unterstützungsfläche in ap und ml. Im Tandemstand ist die Unterstützungsfläche in ap relativ weit ausgedehnt, in ml relativ kurz, was zu einer größeren Stabilität in ap geführt haben könnte. Bei der Aufgabe *I-Blind* ist, wie im parallelen Stand, davon auszugehen, dass die Stabilität in der ml-Achse größer ist als in der ap-Achse. Das liegt einerseits an der parallelen Standposition auf dem Stabilometer. Andererseits wird der größere Abstand zwischen dem Ansatz der Zugfedern und der Rotationsachse in der ml-Achse zu größeren unterstützenden Drehmomenten führen. Das wird zusätzlich durch eine größere Längenänderung der Feder bei gleicher Winkeländerung verstärkt. Es könnte sein, dass die posturalen Synergien, die zur Gleichgewichtsregulation in der ap-Achse eingesetzt werden, stärker von visueller Information abhängig sind als posturale Synergien, die das Gleichgewicht in der ml-Achse kontrollieren. Das könnte wiederum daran liegen, dass somatosensorische Information für die Gleichgewichtsregulation in der ap-Achse nicht so gut mit vestibulärer Information integriert werden kann.

3.5.2 OH2 Transfer auf veränderte Federkonstante

Zwischen den beiden Aufgaben dieses Experiments, die sich nur aufgrund der eingesetzten Zugfedern unterschieden (*I-Standard*, *I-Starke Federn*), ergab sich eine sehr große Transferabilität. Alle operationalisierten Forschungshypothesen konnten bestätigt werden.

A posteriori durchgeführte zweifaktorielle (MZP(Pre, Post) x VG(VG_{Standard}, VG_{Starke Federn})) Varianzanalysen mit Messwiederholung auf dem Faktor MZP zeigen, dass sich beide VGn bei der Aufgabe *I-Starke Federn* nicht unterschiedlich verbessern, $F_s(1, 22) \leq 0.15$, $p_{adj} > .999$, $\eta^2_p \leq .01$. Bei der Aufgabe *I-Standard* verbessert sich VG_{Standard} stärker als VG_{Starke Federn}, $F(1, 22) = 8.12$, $p_{adj} = .018$, $\eta^2_p = .27$, in der ap-Achse gibt es keinen Unterschied, $F(1, 22) = 0.76$, $p_{adj} = .784$, $\eta^2_p = .03$. Diese Ergebnisse könnten darauf hinweisen, dass der Transfer von der Aufgabe mit geringerer Federunterstützung (*I-*

Standard) auf die Aufgabe mit stärkerer Federunterstützung (*I-Starke Federn*) besser gelingt als umgekehrt.

3.5.3 OH3 Transfer auf Aufgaben, bei denen die gleiche Achse freigegeben ist

Die Annahme, dass sich der RMSE bei Transferaufgaben mit einer zusätzlich freigegebenen oder arretierten Achse in denjenigen Achsen reduziert, die auch bei der Übungsaufgabe freigegeben waren, scheint nicht zuzutreffen. Es konnte lediglich positiver Transfer für VG_{Standard} auf die Aufgabe *I-ml* gezeigt werden (OH3a2). Zwar reduziert VG_{ap} den RMSE in der ap-Achse bei der Aufgabe *I-Standard* im Vergleich zur KG, allerdings könnte sich die vorgeschaltete Aneignungsphase unterschiedlich auf die Pre-Post-Vergleiche der beiden Gruppen ausgewirkt haben, sodass der signifikante Interaktionseffekt (MZP x VG) nur mit großer Vorsicht interpretiert werden kann (OH3b1). OH3a1 und OH3b2 müssen schon aufgrund ausbleibender Interaktionseffekte abgelehnt werden.

Der Transfer zwischen den Aufgaben *I-Standard* und *I-Starke Federn* gelang sehr gut (Kap. 3.5.2). Deswegen sollen die Berechnungen zu OH3 a posteriori mit $VG_{\text{Starke Federn}}$ anstelle von VG_{Standard} und Aufgabe *I-Starke Federn* anstelle der Aufgabe *I-Standard*, repliziert werden. Die Ergebnisse dieser Replikation bestätigen die der Prüfung von OH3. Auch die $VG_{\text{Starke Federn}}$ konnte den RMSE bei der Aufgabe *I-ml* stärker reduzieren als die KG (vgl. OH3a2), Interaktion MZP x VG, $F(1, 22) = 17.05$, $p_{\text{adj}} < .001$, $\eta^2_p = .44$, $VG_{\text{Starke Federn}}$, $t(11) = 3.78$, $p_{\text{adj}} = .003$. Auch VG_{ap} gelang es die Abweichungen in der ap-Achse bei Aufgaben *I-Starke Federn* stärker zu reduzieren als die KG (vgl. OH3b1), Interaktion MZP x VG, $F(1, 22) = 6.32$, $p_{\text{adj}} = .020$, $\eta^2_p = .22$. Bei dieser Aufgabe wird sogar der Vergleich von Pretest und Posttest in der VG signifikant, $t(11) = 2.77$, $p_{\text{adj}} = .018$, sodass hier von einem positiven Transfer ausgegangen werden kann. Die beiden nicht signifikanten Interaktionseffekte werden auch in dieser Replikation nicht signifikant. Auch für $VG_{\text{Starke Federn}}$ kann keine signifikante Verbesserung gegenüber der KG bei der Aufgabe *I-ap* nachgewiesen werden (vgl. OH3a1), $F(1, 22) = 2.99$, $p_{\text{adj}} = .098$, $\eta^2_p = .12$. Allerdings unterscheiden sich in dieser VG die Pre- und Posttestergebnisse, $t(11) = 2.21$, $p_{\text{adj}} = .049$. Der Interaktionseffekt

MZP x VG verfehlt bei einem Vergleich der RMSE-Veränderungen zwischen VG_{ml} und der KG das Signifikanzniveau deutlich (vgl. OH3b2), $F(1, 22) = 0.48$, $p_{adj} = .882$, $\eta^2_p < .01$, da sich die VG_{ml} bei dieser Aufgabe nicht verbessert, $t(11) = 0.57$, $p_{adj} = .582$. Dass sich die nicht hypothesenkonformen Ergebnisse auch für die Übungs- oder Transferaufgabe *I-Starke Federn* zeigen, lässt stark an der Richtigkeit der formulierten Hypothesen zweifeln.

Ein möglicher Erklärungsansatz, der mit den allgemeinen Forschungshypothesen (Kap. 2.4) vereinbar ist, könnte sich daraus ergeben, dass bei den Aufgaben mit zwei freigegebenen Achsen andere posturale Synergien eingesetzt worden sind als bei den Aufgaben mit einer freigegebenen Achse. Das wäre der Fall, wenn statt Kombinationen von ap- und ml-Synergien (Henry et al. 1998b, Kap. 2.2.4.1), für jede Auslenkungsrichtung eigene Synergien eingesetzt worden wären. Allerdings sprechen die positiven Transferbefunde (OH3a2, OH3b1) gegen diese Annahme. Ein anderer Grund für Unterschiede in den eingesetzten posturalen Synergien könnte eine unterschiedliche Ausgangsposition bei der Regulation in der geübten Achse sein. Die RMSEs sind in allen VGn bei allen Aufgaben zu allen MZPn in der ap-Achse größer als in der ml-Achse (Tab. 9), was an dem parallelen Stand und den mechanischen Bedingungen des Stabimeters liegen könnte (Kap. 3.5.1). Die großen Abweichungen in der ap-Achse werden beispielsweise dazu geführt haben, dass die VPn der VG_{ml} das Gleichgewicht in ml-Richtung bei der Aufgabe *I-Standard* größtenteils mit plantar- oder dorsalflexierten Sprunggelenken regulieren mussten. Die unterschiedliche Ausgangsposition könnte dazu geführt haben, dass andere posturale Synergien eingesetzt wurden. Auf diese Weise könnten die gegensätzlichen Befunde von OH3b1 und OH3b2 erklärt werden, OH3a1 und OH3a2 hingegen nicht.

Ein alternativer Erklärungsansatz berücksichtigt ebenfalls die größeren Abweichungen in der ap-Achse gegenüber der ml-Achse. Es könnte sein, dass VPn, die die großen Abweichungen in der ap-Achse für bedeutsame Fehler halten, ihre Aufmerksamkeit auf Details der Bewegungsausführung legen, was sich negativ auf die Leistung auswirkt. Dieser Ansatz hat große Gemeinsamkeiten mit einer Erklärung zu Leistungseinbußen unter psychischem Druck (*choking under pressure*). Baumeister (1984) erklärt Leistungseinbußen unter

psychischem Druck folgendermaßen: „situational demands for excellent performance (i.e., pressure) causes the individual to attend consciously to his or her internal process of performance and this consciousness disrupts that process and harms the performance“ (S. 618). Der Unterschied in diesem Experiment liegt darin, dass nicht psychischer Druck, sondern eine große Fehlerrückmeldung als Auslöser für die Aufmerksamkeitszuwendung auf Details der Bewegungsausführung angenommen wird. Dabei ist nicht die Größe des Fehlers entscheidend, sondern die subjektive Bewertung des Fehlers. Bei Aufgabe *I-ap* könnten die VPn der VG_{Standard} die Abweichungen in der ap-Achse als bedeutungsvolleren Fehler interpretieren als bei der geübten Aufgabe *I-Standard*, da nur sie als einzige Achse freigegeben ist. Bei der Aufgabe *I-Standard* könnten die VPn der VG_{ml} aufgrund der großen Abweichungen in der *neuen* Achse (ap) ihre Aufmerksamkeit auf Details der Bewegung lenken, wohingegen die relativ geringeren Abweichungen in der *neuen* ml-Achse in VG_{ap} nicht zu diesem *explicit monitoring* (Beilock & Carr, 2001) führen. Da davon auszugehen ist, dass die Details der Gleichgewichtsregulation auf einem Stabilometer nach mehrwöchiger Übung weitestgehend automatisiert sein sollten, könnten Leistungseinbußen durch dieses *explicit monitoring* erklärt werden (Schneider & Fisk, 1983). Sollte dieser Erklärungsansatz zutreffen müssten die Bedingungen für Transfer um den Faktor Aufmerksamkeit erweitert werden.

3.5.4 OH4 Transfer auf Aufgaben mit zusätzlicher Achse

Es wurde erwartet, dass sich die RMSEs in der Achse, die nicht während der Übungsphase freigegeben war nicht stärker reduzieren als in der KG. Für die Aufgaben, bei denen nur diejenige Achse freigegeben war, die während der Übungsphase arretiert war, kann diese Annahme bestätigt werden (OH4b, OH4d). Allerdings können die Hypothesen für die Aufgaben, bei denen die in der Übungsphase freigegebene Achse weiterhin freigegeben ist, aufgrund knapp zu niedriger *p*-Werte nicht bestätigt werden (OH4a, OH4c). Wie in der Diskussion zu OH3 (Kap. 3.5.3) soll hier zunächst überprüft werden, ob die Ergebnisse für die Transferaufgabe *I-Starke Federn* die Ergebnisse der Hypothesenprüfung bestätigen können. Dabei zeigt sich, dass die VPn der Gruppen

VG_{ap} und VG_{ml} den RMSE in der jeweils während der Übung arretierten Achse nicht stärker reduzieren können als die KG, VG_{ap}, $F(1, 22) = 0.10$, $p = .750$, $\eta^2_p = .01$, VG_{ml}, $F(1, 22) = 0.70$, $p = .413$, $\eta^2_p = .03$.

Die nicht hypothesenkonformen Ergebnisse werden bei der Aufgabe *I-Starke Federn* nicht bestätigt. Wie in den operationalisierten Forschungshypothesen formuliert, soll deshalb nicht von Transfer, bezüglich der RMSEs in der während der Übungsaufgabe arretierten Achse ausgegangen werden.

3.5.5 OH5 Transfer auf Stabilometer mit verändertem Abstand zwischen Standfläche und Rotationsachse (Stabilometer II)

Dass der Transfer von Aufgaben auf Stabilometer I auf Aufgaben auf Stabilometer II nicht gelingt, konnte nicht bestätigt werden (vgl. Kap. 3.4.3.5). Lediglich für VG_{ap} konnte nachgewiesen werden, dass sie den RMSE nicht stärker reduziert als die KG. Allerdings unterscheidet sich Aufgabe I-ap nicht nur durch den Abstand zwischen Standfläche und Rotationsachse von Aufgabe II-ml, sondern auch durch die Richtung der Plattformauslenkungen. Dass hier kein Transfer auftritt, könnte allein durch die unterschiedlichen Rotationsrichtungen begründet (vgl. Kap. 3.5.4) und unabhängig von dem Abstand zwischen Rotationsachse und Standfläche sein. Für alle VGn, die während der Übungsphase eine Aufgabe mit freigegebener ml-Achse auf Stabilometer I übten, kann nicht bestätigt werden, dass es keinen Transfer auf die Aufgabe auf Stabilometer II gab.

Trotzdem soll die allgemeine Forschungshypothese, dass die Art und Bedeutung der beteiligten posturalen Synergien eine wichtige Bedingung für den Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben ist (vgl. Kap. 2.4), nicht verworfen werden. Vielmehr wird angenommen, dass die Forschungshypothesen keine geeignete Operationalisierung der allgemeinen Forschungshypothese dargestellt haben. Selbst wenn die unterschiedlichen Abstände zwischen Standfläche und Rotationsachse dazu führen, dass in ap unterschiedliche posturale Synergien eingesetzt werden (Gollhofer et al., 1989; Ivanenko et al., 1997), muss das nicht zwangsläufig auch für die Gleichgewichtsregulation in der ml-Achse zutreffen. Diese Frage kann aber anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht endgültig

geklärt werden. Dafür würden EMG-Daten und kinematische Daten zu Bewegungen der VPn benötigt.

3.5.6 OH6 Transfer auf Aufgaben mit veränderten visuellen Bedingungen

Da davon ausgegangen werden kann, dass das Tragen der verdunkelten Brille erhebliche Veränderungen in der Art und Bedeutung der beteiligten sensorischen Teilsysteme zur Folge hat, wurde vermutet, dass sich das Üben der Aufgaben *I-Starke Federn* oder *I-Blind* nicht positiv auf die Leistung bei der jeweils anderen Aufgabe auswirkt. Diese Hypothese konnte nicht vollständig bestätigt werden, da für VG_{Blind} nicht gezeigt werden konnte, dass sie den RMSE in der ml-Achse bei der Aufgabe *I-Starke Federn* nicht stärker reduziert als die KG.

Wie bei der Diskussion von OH3 und OH4 (vgl. Kap. 3.5.3, 3.5.4) soll zunächst überprüft werden, ob sich die Ergebnisse bei der Aufgabe ohne verdunkelte Brille mit veränderter Federkonstante (*I-Standard*) bestätigen lassen. Für die RMSEs in der ap-Achse zeigt sich auch hier kein Transfer. Es kann zwar nicht gezeigt werden, dass sich die Veränderung des RMSEs in der ap-Achse bei der Aufgabe *I-Blind* zwischen Pretest und Posttest nicht zwischen VG_{Standard} und der KG unterscheidet, $MZP \times VG$, $F(1, 22) = 3.07$, $p = .094$, $\eta^2_p = .11$. Dieser Unterschied ist aber durch die größeren Leistungseinbußen der VG_{Standard} zu erklären, sodass nicht von positivem Transfer ausgegangen werden kann. Auch umgekehrt (VG_{Blind} , *I-Standard* (ap)) kann gezeigt werden, dass kein positiver Transfer aufgetreten ist, $F(1, 22) = 0.12$, $p = .737$, $\eta^2_p = .01$. Die beiden Interaktionseffekte bezüglich der RMSEs in der ml-Achse haben p -Werte von $p < .200$, VG_{Standard} , *I-Blind* (ml), $F(1, 22) = 6.17$, $p = .021$, $\eta^2_p = .22$, VG_{Blind} , *I-Standard* (ml), $F(1, 22) = 2.87$, $p = .105$, $\eta^2_p = .12$.

Demnach kann nicht ausgeschlossen werden, dass es doch einen schwachen Transfer zwischen den Aufgaben mit unterschiedlichen visuellen Bedingungen gibt. Dass dieses auf Abweichungen in der ml-Achse begrenzt zu sein scheint, lässt sich, genau wie das Ausbleiben von Reduktionen des RMSEs in der ap-Achse bei der Aufgabe *I-Blind* (vgl. Kap. 3.5.3), mit der unterschiedlichen Bedeutung visueller Information für die Abweichungen in ap und ml bei den Aufgaben auf Stabilometer I erklären. Wenn die visuelle Information für das Korri-

gieren von Abweichungen in der ml-Achse eine geringere Bedeutung hat als in der ap-Achse, kann für Abweichungen in der ml-Achse auch eher Transfer zwischen Aufgaben mit veränderten visuellen Bedingungen auftreten.

3.5.7 Zusammenfassende Diskussion zu Experiment 1

Die allgemeinen Forschungshypothesen können einen Großteil der Ergebnisse von Experiment 1 erklären. Die fast durchgängig signifikanten aufgabenspezifischen Verbesserungen (OH1) und der positive Transfer zwischen Aufgaben mit veränderter Unterstützung durch Zugfedern (OH2) zeigt, dass es zu übungsbedingten Leistungssteigerungen bei Gleichgewichtsaufgaben kommen kann, wenn sich Art und Bedeutung der beteiligten posturalen Synergien und Art und Bedeutung der beteiligten sensorischen Teilsysteme nicht unterscheiden. Dass sich die RMSEs in derjenigen Achse nicht reduzieren lassen, die während der Übungsphase arretiert war (OH4, OH5c), spricht ebenfalls für eine Abhängigkeit des Transfers von Art und Bedeutung der beteiligten posturalen Synergien. Die Befunde zu Abweichungen in der ap-Achse bei Aufgaben mit veränderten visuellen Bedingungen sprechen für eine Abhängigkeit des Transfers von Art und Bedeutung der beteiligten sensorischen Teilsysteme.

Um aber sämtliche Ergebnisse dieses Experiments erklären zu können, müssen drei weitere Annahmen gemacht werden, die es in weiteren Experimenten zu prüfen gilt.

1. Große Fehlerrückmeldungen können die Aufmerksamkeit auf Details der Bewegungsausführung lenken, was Transferleistungen negativ beeinflussen kann.
2. Die Bedeutung visueller Information für die Gleichgewichtsregulation ist aufgaben- bzw. richtungsabhängig.
3. Ein veränderter Abstand zwischen Standfläche und Rotationsachse eines Stabilometers führt in medial-lateraler Richtung nicht zum Einsatz anderer posturaler Synergien.

4 Experiment 2

Die Ergebnisse zum Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben auf Stabilometern ließen sich nicht ausschließlich mit der Art und Bedeutung der beteiligten sensorischen Teilsysteme und der beteiligten posturalen Synergien (Olivier, 1997) erklären. Es könnte sein, dass *Aufmerksamkeit* ein weiterer Faktor ist, der die Leistungen bei Transfertests beeinflussen kann.

Dieses soll in einem zweiten Experiment überprüft werden. Insbesondere, wenn eine experimentelle Untersuchung nicht erwartete Ergebnisse liefert, ist eine Replikation erforderlich (Bortz & Döring, 2006, S. 38). Damit empirische Befunde als Basis einer psychologischen Theorie verwendet werden können, müssen sie zwei Bedingungen erfüllen: Sie müssen reproduzierbar und generalisierbar sein (Amir & Sharon, 1991, S. 51). Diese beiden Voraussetzungen können mit Hilfe von Replikationsstudien überprüft werden. Dabei zeichnen sich Tests der Reproduzierbarkeit durch eine möglichst identische Wiederholung des Experiments aus, wohingegen die Generalisierbarkeit durch systematische Modifikation einzelner Aspekte des Experiments überprüft werden kann. Für die empirische Befundlage nach Experiment 1 bietet sich zunächst eine Wiederholung der Intervention der VG_{ap} und der VG_{ml} des Experiments 1 an, deren jeweilige Leistung bei der Transferaufgabe I-Standard überprüft wird. Dadurch werden die nicht erwarteten Befunde daraufhin überprüft, ob sie auch in anderen Stichproben der gleichen Population (junge, sportlich aktive Erwachsene) reproduzierbar sind. Dabei sollen zwei Modifikationen gegenüber Experiment 1 vorgenommen werden, die in Experiment 1 zu Einschränkungen der internen Validität geführt haben könnten. Erstens soll die vorgeschaltete Aneignungsphase (vgl. Kap. 3.1.7.1, Kap. 4.3.7.1) nicht am gleichen Tag wie der Pretest durchgeführt werden, um einen möglichen Einfluss der Aneignungsphase zu reduzieren. Zweitens soll auf einige der Transferaufgaben aus Experiment 1 im Pre- und im Posttest zugunsten anderer Aufgaben verzichtet werden. Darüber hinaus soll überprüft werden, ob der diskutierte Erklärungsansatz (vgl. Kap. 3.5.3) aufrechterhalten werden kann. Zur Abklärung bieten sich Doppeltätigkeitstests an, die das Ausmaß der Aufmerksamkeitszuwendung auf die Gleichgewichtskon-

trolle überprüfen sollen. Eine weitere Überprüfung der Generalisierbarkeit soll in diesem Experiment noch nicht geleistet werden (vgl. Kap. 5).

Bevor die allgemeinen Forschungshypothesen für Experiment 2 aufgestellt werden (Kap. 4.2), muss das Theoriefeld *Aufmerksamkeit bei der motorischen Kontrolle und beim motorischen Lernen* eröffnet werden, da diese theoretischen Grundlagen und Befunde zur Herleitung der allgemeinen Forschungshypothesen von Experiment 1 (Kap. 2.4) noch nicht thematisiert worden sind. Anschließend werden diejenigen Aspekte der Untersuchungsmethode vorgestellt, die sich von Experiment 1 unterscheiden (Kap. 4.3) und die allgemeinen Forschungshypothesen werden operationalisiert (Kap. 4.4). Danach werden die Ergebnisse von Experiment 2 vorgestellt (Kap. 4.6) und diskutiert (Kap. 4.7).

4.1 Aufmerksamkeit

Obwohl, oder vielleicht auch gerade weil, James schon 1890 seine vielzitierte Definition von Aufmerksamkeit mit dem Satz beginnt: „Everyone knows what attention is.“ (S. 403), ist es heute nicht möglich sämtliche Verwendungen des Begriffs in einer Definition zu vereinen (Abernethy, 2001).

Mit einem Verweis auf Posner und Boies (1972) stellt Abernethy (2001) folgende drei Verwendungen des Begriffs Aufmerksamkeit als die bedeutendsten heraus:

1. Aufmerksamkeit als Wachsamkeit (*alertness*)

In diesem Zusammenhang werden Fragen zur Entwicklung und Aufrechterhaltung einer optimalen Sensitivität und der Bereitschaft zu reagieren behandelt. Nach diesem Verständnis ist Aufmerksamkeit direkt von Erregtheit (*arousal*) und Angst (*anxiety*) abhängig. Ein bekanntes Beispiel ist die umgekehrte-U-Hypothese (Broadhurst, 1957), nach der die optimale Leistung bei einer mittleren Erregtheit erreicht werden kann.

2. Aufmerksamkeit als Selektionsmechanismus

Nach diesem Verständnis ist Aufmerksamkeit ein kognitiver Mechanismus, der es ermöglicht relevante Information zu verarbeiten und irrelevante Information auszublenden. Beispielsweise wird mit dem *Cocktail-Party-Phänomen* (Cherry,

1953, S. 976) beschrieben, dass man selektiv auditive Information eines Ohrs ausblenden kann und die Aufmerksamkeit auf die des anderen lenkt.

3. Aufmerksamkeit als limitierte Ressource

In diesem Ansatz wird Aufmerksamkeit als eine oder mehrere Ressource(n) verstanden, die nur ein begrenztes Maß an Informationsverarbeitung zulassen. Es wird versucht die Grenzen dieser Ressource(n) mit Hilfe des so genannten Doppel-Aufgaben-Paradigmas zu untersuchen.

Die Verwendungen des Begriffs Aufmerksamkeit als Selektionsmechanismus und limitierte Ressource sind eng miteinander verknüpft. Der Zwang zur Selektion entsteht erst dadurch, dass Informationsverarbeitung nicht unbegrenzt möglich ist. Und eine limitierte Ressource erfordert Entscheidungen darüber, wofür diese Ressource eingesetzt wird. Deshalb soll in dieser Arbeit Aufmerksamkeit als limitierte Ressource verstanden werden, die selektiv eingesetzt werden kann.

4.1.1 *Theoretische Modelle zur Aufmerksamkeit als limitierte Ressource*

Das Verständnis von Aufmerksamkeit als limitierte Ressource gründet auf der Beobachtung, dass bei Aufgaben häufig schlechtere Leistungen erbracht werden, wenn sie gleichzeitig mit anderen Aufgaben gelöst werden müssen. Diese Leistungseinbrüche beim Ausführen multipler Aufgaben (meistens Doppelaufgaben) werden herangezogen, um Rückschlüsse auf die Grenzen der menschlichen Informationsverarbeitung zu ziehen. Die limitierende Ressource bei der Bewältigung von Doppelaufgaben wird in vielen Modellen Arbeitsgedächtnis (*working memory*) genannt. Das Arbeitsgedächtnis unterscheidet sich von dem Modell des Kurzzeitgedächtnisses (Broadbent, 1958) dadurch, dass ihm auch kontrollierte Aufmerksamkeitsfunktionen zugeschrieben werden (Engle, Tuholski, Laughlin & Conway, 1999).

Arbeitsgedächtnismodelle lassen sich untereinander vor allem daran unterscheiden, ob sie das Arbeitsgedächtnis als eine einheitliche Ressource mit einer zentralen Kapazität verstehen (z.B. Kahneman, 1973), oder von einem modular aufgebauten Arbeitsgedächtnis mit verschiedenen spezifischen Subsys-

temen ausgehen (z.B. Wickens, 1980, 1984). Darüber hinaus werden auch Synthesemodelle vorgeschlagen, in denen sowohl eine zentrale Instanz, als auch spezifische Ressourcen angenommen werden (Baddeley & Hitch, 1974). Diese Synthesemodelle scheinen am besten mit empirischen Befunden zu Interferenzen bei Doppelaufgaben vereinbar zu sein. Gegen eine ausschließlich zentral limitierte Ressource sprechen die relativ größeren Interferenzen, wenn auf die gleiche Ressource zurückgegriffen wird, als wenn die Doppelaufgaben unterschiedliche Ressourcen beanspruchen (Baddeley, Grant, Wight & Thomson, 1975). Dass auch zwischen unterschiedlichen Ressourcen Interferenzen auftreten können spricht allerdings gegen einen reinen modularen Aufbau. Deswegen soll im Folgenden das Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley und Hitch (1974) mit den späteren Erweiterungen (Baddeley, 2000b) als Beispiel eines Synthesemodells vorgestellt werden.

In ihrem ursprünglichen Arbeitsgedächtnismodell gehen Baddeley und Hitch (1974) von einer *central executive* als zentraler Kontrollinstanz aus, die die Subsysteme koordiniert und steuert. Ihr untergeordnet sind das *visual-spatial-sketchpad* und der *phonological loop*. Später ergänzte Baddeley (2000) den *episodic buffer* als drittes Subsystem.

Der *phonological loop* ist das Subsystem, in dem sprachliche und auditive Information verarbeitet wird. Er wird in einen Kurzzeitspeicher, den *phonological cache* und einen subvokalen artikulatorischen Kontrollprozessor, dem *phonological rehearsal*, unterteilt. Im *visual-spatial-sketchpad* wird visuelle und räumliche Information verarbeitet. Außerdem wird angenommen, dass es für mentale Bewegungsvorstellungen zuständig ist. Dem später in das Modell aufgenommenen *episodic buffer* schreibt Baddeley (2000) einen Mechanismus zur Verknüpfung von Information (*chunking*) und die Integration von Information aus den verschiedenen Instanzen des Arbeitsgedächtnisses und des Langzeitgedächtnisses zu. Die hierarchisch höchste Instanz des Arbeitsgedächtnismodells ist die *central executive*. Sie wird vor allem mit den drei Aufmerksamkeitsprozessen Fokussierung der Aufmerksamkeit, geteilte Aufmerksamkeit und Wechsel des Aufmerksamkeitsfokus in Verbindung gebracht. Darüber hinaus ordnet ihr Baddeley (2000) alle Funktionen zu, die durch die drei Subsysteme noch

nicht erklärt werden können. Deswegen scheint eine zukünftige weitere Ausdifferenzierung dieses Arbeitsgedächtnismodells möglich.

4.1.2 *Aufmerksamkeit als selektiver Mechanismus*

In der Diskussion der Ergebnisse von OH3 in Experiment 1 (Kap. 3.5.3) wird vermutet, dass Transfer ausgeblieben ist, weil VPn Aufmerksamkeit aufgrund großer Fehlerrückmeldungen auf der Details der Bewegungsausführung gerichtet haben, die eigentlich mit sehr geringer Aufmerksamkeitszuwendung gelöst werden können. Um diesen Erklärungsansatz näher zu erläutern werden in diesem Kapitel zwei grundlegende Mechanismen der Aufmerksamkeitsorientierung vorgestellt und erläutert, welche als Auslöser zu einer bewegungsbezogenen Aufmerksamkeit bei motorischen Aufgaben führen können.

Da Aufmerksamkeit als limitierte Ressource(n) angenommen wird, bedarf es eines Selektionsmechanismus, der bestimmt, wie die begrenzten Ressourcen eingesetzt werden. In dem Arbeitsgedächtnismodell nach Baddeley und Hitch (1974; Baddeley, 2000; Kap. 4.1.1) übernimmt die *central executive* diese Funktion.

Auf die ortsbezogene visuelle Aufmerksamkeit bezogen, unterscheiden Müller und Krummenacher (2006, S. 244) zwei komplementäre Mechanismen der Aufmerksamkeitsausrichtung. Sie beschreiben *exogene* Mechanismen als kurzzeitige reizgetriggerte oder reflexive Orientierung auf periphere Cues mit kurzen Latenzzeiten. *Endogene* Mechanismen sind dagegen durch eine intentionale oder willentliche Orientierung auf zentrale Cues mit längeren Latenzzeiten und längerer Aufrechterhaltung gekennzeichnet.

Für motorische Aufgaben lassen sich ebenfalls Hinweise für verschiedene Mechanismen der Aufmerksamkeitsorientierung auf den Bewegungsprozess finden.

So werden in Experimenten zum *focus of attention* (Überblick: Wulf & Prinz, 2001; Wulf, 2007) Instruktionen genutzt, um die Aufmerksamkeit der VPn auf bestimmte Aspekte des Bewegungsprozesses (*internal focus of attention*) oder auf Effekte der Bewegung (*external focus of attention*) zu lenken. Beispielsweise instruieren Wulf und McNevin (2003) ihre VPn sich auf ihre Füße zu fokus-

sieren und diese horizontal zu halten (*internal focus attention*, S. 5). Diese Instruktion führt wahrscheinlich zu einer endogenen Orientierung der Aufmerksamkeit auf die Bewegung der Füße auf dem Stabilometer.

In der Arbeitsgruppe um Beilock werden Doppelaufgaben genutzt um die Aufmerksamkeit auf die Bewegung (*skill focussed attention*) oder auf irrelevante Umweltreize zu lenken. Beilock, Bertenthal, McCoy & Carr (2004) ließen VPn bei Golf-Puts entweder darauf achten den Schlägerkopf geradlinig nach vorn zu führen und im Moment des Balltreffens laut „*straight*“ zu sagen, oder aber darauf einen Ton aus einer Tonsequenz zu erkennen. Auch hier kann vermutet werden, dass die Aufmerksamkeit durch endogene Mechanismen gelenkt entweder auf die Bewegung (Sekundäraufgabe 1) oder auf die Tonsequenz (Sekundäraufgabe 2) gelenkt wird.

Auch psychischer Druck wird als Auslöser für eine endogene Orientierung der Aufmerksamkeit auf den Bewegungsprozess diskutiert. So erklärt Baumeister (1984) Leistungseinbrüche unter hohem psychischem Druck (*choking under pressure*) durch eine Aufmerksamkeitslenkung auf die Bewegungsausführung. Beilock & Carr (2001) nennen diese Erklärung für Leistungseinbußen unter psychischem Druck *explicit monitoring*.

Große Fehlerrückmeldungen könnten eine weitere Ursache für eine bewegungsbezogene Aufmerksamkeit sein. Ein Beispiel für diese Annahme ist die Erklärung für die Vorteile des so genannten *errorless learning* (Maxwell, Masters, Kerr & Weedon, 2001; Poolton, Masters & Maxwell, 2005; Prather, 1971), das insbesondere in frühen Übungsphasen durch Übungsbedingungen gekennzeichnet ist, unter denen die Übenden nur sehr geringe Fehler machen. Es ist anzunehmen, dass Bewegungsfehler sowohl über exogene (Redfern, Müller, Jennings & Furman, 2002) als auch über endogene Mechanismen Aufmerksamkeit auf den Bewegungsprozess lenken können. Im Zusammenhang mit Vorteilen von *errorless learning* wird eine geringere explizite hypothesentestende Auseinandersetzung mit der Aufgabe diskutiert (Maxwell et al., 2001; Poolton et al., 2005). Demnach wird von diesen Autoren angenommen, dass sich eine durch Fehlerrückmeldungen ausgelöste, endogene Aufmerksamkeitsorientierung auf den Bewegungsprozess auswirkt.

4.1.3 *Bewegungsbezogene Aufmerksamkeit im Lernverlauf*

Aus verschiedenen Lernphasenmodellen ist abzuleiten, dass eine nur geringe Erfahrung mit einer Aufgabe zu einer bewegungsbezogenen Aufmerksamkeit führt. Nach diesen Modellen lösen Novizen motorische Aufgaben mit einem größeren Anteil bewegungsbezogener Aufmerksamkeit als Experten. Dieses könnte als endogene Orientierung der Aufmerksamkeit auf lernrelevante Aspekte der Bewegung verstanden werden.

Nach dem Three-Stage-Model (Fitts & Posner, 1967) wird davon ausgegangen, dass das Lernen motorischer Fertigkeiten in eine kognitive, eine assoziative und eine autonome Lernphase unterteilt werden kann. Besonders in der kognitiven Phase wird bewegungsbezogene Aufmerksamkeit benötigt, da es in dieser Phase darum geht, geeignete Lösungsstrategien zu entwickeln und ungeeignete zu verwerfen. Durch extensives Üben gelangt man bis in die autonome Phase, in der die Aufgabe mit sehr geringer bewegungsbezogener Aufmerksamkeit gelöst werden kann, was an geringen Interferenzen durch zusätzliche Aufgaben deutlich wird.

Auch andere Lernphasenmodelle nehmen eine stärkere bewegungsbezogene Aufmerksamkeit in frühen (*verbal motor stage*, Adams, 1971; *initial stage*, Gentile, 1972) gegenüber späteren Lernphasen (*motor stage*, Adams, 1971; *later stages*, Gentile, 1972) an.

4.1.4 *Aufmerksamkeit und motorische Kontrolle*

Ein Grund für die mit zunehmender Expertise geringere Orientierung der Aufmerksamkeit auf den Bewegungsprozess könnte sein, dass die Bewegung nicht mehr im hohen Maße durch das Arbeitsgedächtnis kontrolliert wird. Stattdessen könnten andere Instanzen nach und nach Teilprozesse der motorischen Kontrolle übernehmen. Dadurch würden immer weniger Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses benötigt und es gäbe die Möglichkeit diese Ressourcen für andere Aufgaben einzusetzen.

Es wird diskutiert, ob übungsbedingte Veränderungen in der Aufmerksamkeitsorientierung im Zusammenhang mit zwei verschiedenen motorischen Kontroll-

modi stehen. Schneider und Fisk (1983, S. 120) nennen diese automatische Verarbeitung (*automatic processing*) und kontrollierte Verarbeitung (*controlled processing*). Sie charakterisieren *automatic processing* als schnell, genau, mühelos und nicht unter direkter Kontrolle. *Automatic processing* benötigt kaum Aufmerksamkeitsressourcen und entwickelt sich erst durch umfangreiches Üben der beteiligten Teilprozesse. *Controlled Processing* wird dagegen als langsam, mühevoll und unter direkter Kontrolle beschrieben. *Controlled processing* wird benötigt um mit neuer oder inkonsistenter Information umzugehen und benötigt Aufmerksamkeitsressourcen in größerem Umfang.

4.1.4.1 Auswirkungen bewegungsbezogener Aufmerksamkeit auf die Leistung bei motorischen Aufgaben

In Kapitel wurden verschiedene mögliche Auslöser bewegungsbezogener Aufmerksamkeit aufgezeigt. In diesem Kapitel sollen nun Befunde vorgestellt werden, die zeigen, wie sich bewegungsbezogene Aufmerksamkeit auf die Leistung bei motorischen Aufgaben auswirkt.

In Experimenten zum Aufmerksamkeitsfokus wird versucht, die Aufmerksamkeitsorientierung über Instruktionen eines internalen oder externalen Aufmerksamkeitsfokus zu variieren. In diesen Experimenten, die vor allem von der Arbeitsgruppe um Wulf durchgeführt wurden, zeigen sich fast durchgängig Vorteile eines externalen Aufmerksamkeitsfokus. Sowohl bei Golf-Novizen (Wulf & Su, 2007; Experiment 1) als auch bei Golf-Experten (Wulf & Su, 2007; Experiment 2), die auf ein 15 m entferntes Ziel spielen mussten, zeigt sich die externe Fokustruktion im Retentionstest überlegen. Auch bei Basketballspielern mit mindestens einem Jahr Erfahrung, die Freiwürfe ausführten (Zachry, Wulf, Mercer & Bezodis, 2005) und Erwachsenen, die maximale Vertikalsprünge ausführten (Wulf, Zachry, Granados & Dufek, 2007), zeigten sich bessere Leistungen unter externaler Fokustruktion. Wulf (2007) erklärt die Vorteile eines externalen Fokus mit der so genannten *constraint action hypothesis*. Demnach führt eine Fokussierung auf die Effekte einer Bewegung zu einem automatischen Kontrollmodus. Eine Fokussierung auf die Bewegung würde hingegen

die Prozesse, die normalerweise die Bewegung kontrollieren, unterbrechen und so zu schlechteren Leistungen führen.

In einigen Aspekten unterscheiden sich die Experimente und die theoretischen Annahmen der Forschungsgruppe um Beilock von denen von Wulf. Zum einen wird die Aufmerksamkeitsorientierung nicht durch Instruktionen beeinflusst, sondern durch Doppelaufgaben, die zu einer Aufmerksamkeitslenkung auf die Bewegung (*skill focused attention*) oder auf irrelevante Umweltreize führen sollen. Dabei wird nicht zwischen körperinternen oder körperexternen Aspekten der Bewegung unterschieden. Vor dem Hintergrund von Lernphasenmodellen (Kap. 4.1.3) wird eine Interaktion von Expertise und Aufmerksamkeitsorientierung angenommen. Anfänger sollten demnach von einer *skill focused attention* profitieren, wohingegen Fortgeschrittene schlechtere Leistungen unter *skill focused attention* erbringen sollten. Diese Annahme wird weitestgehend durch die experimentellen Befunde gestützt (Beilock et al., 2004; Beilock, Carr, MacMahon & Starkes, 2002; Gray, 2004).

4.1.4.2 Auswirkungen bewegungsbezogener Aufmerksamkeit auf die Leistung bei Gleichgewichtsaufgaben

Schon sehr früh ist bewegungsbezogene Aufmerksamkeit als leistungsreduzierender Faktor bei Gleichgewichtsaufgaben diskutiert worden. Fearing (1925) stellte fest, dass VPn mit geschlossenen Augen stärker schwanken, wenn sie sich darauf konzentrieren sollen, möglichst ruhig zu stehen, als wenn sie zusätzlich die Aufgabe haben, Töne mitzuzählen. Auch Skaggs, Skaggs & Jardon (1932) beobachteten, dass die meisten VPn beim Stehen weniger schwanken, wenn sie mit geöffneten (Experiment 1) oder geschlossenen Augen (Experiment 2) multiplizieren, als wenn sie versuchen ihre Position möglichst beizubehalten. Allerdings konnten sie diesen Effekt für die Sekundäraufgabe *Lesen* nicht bestätigen (Experiment 1).

Eine Reihe von Experimenten der Arbeitsgruppe um Wulf untersuchte den Einfluss unterschiedlicher Fokusinstruktionen auf die Leistung bei Stabilometeraufgaben während der Übungsphase und bei Retentionstests. In diesen Experimenten besteht die internale Fokusinstruktion aus der Anweisung die Füße zu

fokussieren, wohingegen in den externalen Bedingungen Marker auf dem Stabilometer fokussiert werden sollen. Anhand der *constrained action hypothesis* (Wulf, 2007, Kap. 4.1.2) wurden Nachteile einer bewegungsbezogenen Aufmerksamkeit (*internal focus of attention*) erwartet. Während der Übungsphase konnten allerdings nur vereinzelt signifikante Vorteile eines externalen Fokus bestätigt werden (Wulf & McNevin, 2003). In Retentionstests zeigte sich durchgängig, dass diejenigen VPn, die unter externaler Fokusinstruktion übten, sich stärker in der Stabilometeraufgabe verbessern konnten (McNevin, Shea & Wulf, 2003; Shea & Wulf, 1999; Wulf, Höß & Prinz, 1998, Experiment 2; Wulf & McNevin, 2003; Wulf, McNevin & Shea, 2001; Wulf, Shea & Park, 2001). Dabei scheinen VPn auch einen externalen Fokus zu bevorzugen, wenn sie auswählen dürfen (Wulf, Shea & Park, 2001). Wenn die zu fokussierenden Marker weiter außen auf dem Stabilometer angebracht sind, ist der Vorteil eines externalen Fokus noch größer, als wenn Marker fokussiert werden, die sich sehr nah an den Fußspitzen befinden (McNevin, Shea & Wulf, 2003). Die VGn mit unterschiedlichen Fokusinstruktionen unterscheiden sich nicht nur nach ihren Leistungen (abhängige Variable: RMSE, vgl. Kap. 3.1.5). Wulf, McNevin und Shea stellten fest, dass VPn, die einen externalen Aufmerksamkeitsfokus einnahmen, die Stabilometerplattform mit einer höheren Frequenz bewegten und bei der Sekundäraufgabe auf Töne mit einem Tastendruck zu reagieren bei der Sekundäraufgabe auf Töne mit einem Tastendruck zu reagieren geringere Reaktionszeiten hatten. Das interpretierten sie als Bestätigung einer geringeren Aufmerksamkeitszuwendung auf die Bewegung. Allerdings kann eine Interaktion zwischen der Fokusinstruktion und der Sekundäraufgabe nicht ausgeschlossen werden. Schließlich werden Sekundäraufgaben auch genutzt um die Aufmerksamkeit von der Bewegung abzulenken (Beilock et al., 2004; Fearing, 1925). Eine bloße Ablenkung, etwa durch das Zuhören bei einer Geschichte, erreicht allerdings nicht die gleichen Vorteile wie eine externe Fokusinstruktion (Wulf & McNevin, 2003).

4.1.5 Erklärung der nicht hypothesenkonformen Ergebnisse aus Experiment 1 (OH3)

Es kann davon ausgegangen werden, dass die VPn in Experiment 1 bei der Bewältigung der Stabilometeraufgaben von Beginn an bereits erlernte posturale Synergien eingesetzt haben. Diese sind im Laufe der Übungsphase auf die spezifischen Bedingungen der jeweils geübten Aufgabe *adaptiert* worden. Demnach ist die Expertise in der jeweils geübten Aufgabe als hoch einzuschätzen. Diese hohe Expertise und die Tatsache, dass die Kontrolle des motorischen Gleichgewichts normalerweise keiner großen Aufmerksamkeit bedarf (Maki & McIlroy, 2007), weisen darauf hin, dass auch die VPn in Experiment 1 die Stabilometeraufgaben hauptsächlich in einem automatischen Kontrollmodus gelöst haben könnten. In dem Transfertest mit einer zusätzlich freigegebenen Achse könnte die Aufmerksamkeit aber wieder auf Aspekte der Bewegungsausführung orientiert worden sein, wenn die Abweichungen in der neuen Achse sehr groß waren. Dieses war insbesondere bei VG_{ml} bei der Aufgabe *I-Standard* der Fall. So könnte die erneute Aufmerksamkeitszuwendung zum Bewegungsprozess die Leistung insgesamt negativ beeinflusst haben und so für das Ausbleiben von Transfer verantwortlich sein. Es liegen allerdings bis jetzt keine Befunde vor, die alle Schritte dieser Erklärung in einem Experiment bestätigen.

4.2 Herleitung allgemeiner Forschungshypothesen

Die Ergebnisse aus Experiment 1 zum Transfer auf Aufgaben mit einer zusätzlich freigegebenen Achse könnten (Kap. 3.4.3.3) durch eine Verlagerung von Aufmerksamkeit auf Details der Bewegungsausführung erklärt werden. In diesem Experiment soll dieser Erklärungsansatz überprüft werden. Eine Bestätigung würde dafür sprechen, dass neben Art und Bedeutung der beteiligten posturalen Synergien sowie der Art und Bedeutung der beteiligten sensorischen Teilsysteme auch ein geringer Anteil bewegungsbezogener das Auftreten von

Transfer bedingt. So könnten die an Olivier (1997) angelehnten Forschungshypothesen um diese Bedingung erweitert werden.

FH 3: Ein geringer Anteil bewegungsbezogener Aufmerksamkeit stellt eine wichtige Bedingung für den Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben dar.

4.3 Methode Experiment 2

In diesem Kapitel werden die eingesetzten Methoden und das Untersuchungsdesign des Experiments 1 vorgestellt. Zunächst werden die Stichprobe, die Übungs- und Transferaufgaben, die verwendete Messtechnik und die abhängigen Variablen beschrieben. Danach wird das Untersuchungsdesign mit Vor- und Posttest, den untersuchten VGn, der Parallelisierung der VGn und der Gestaltung der Interventionen näher erläutert.

4.3.1 Stichprobe

An Experiment 2 nahmen 38 Versuchspersonen (VPn) teil. Zu Beginn wurden die Versuchspersonen über den Ablauf und den Zweck des Experiments unterrichtet. Danach unterzeichneten die VPn eine Einverständniserklärung, in der sie bestätigten, dass sie freiwillig teilnehmen und jederzeit ohne Angabe von Gründen das Experiment abbrechen können, ohne dass ihnen dadurch Nachteile entstehen (Anhang). Zusätzlich wurde mit Hilfe eines Fragebogens (Anhang) ausgeschlossen, dass die VPn gesundheitlich beeinträchtigt waren oder umfangreiche Erfahrungen in Sportarten mit hohen Anforderungen an die Gleichgewichtsregulation hatten. Eine VPn brach das Experiment ohne Angabe von Gründen nach der vorgeschalteten Aneignungsphase ab. Eine weitere VPn musste das Experiment aufgrund einer Sportverletzung abbrechen. Auch für Experiment 2 wird nicht davon ausgegangen, dass die experimentelle Mortalität die interne Validität beeinflusst. Insgesamt konnten 36 VPn Experiment 2 abschließen, davon waren 23 weiblich und 13 männlich. Das Durchschnittsalter betrug 24,8 Jahre (SD: 2,5 Jahre).

4.3.2 *Das verwendete Stabilometer*

Alle Übungs- und Transferaufgaben in Experiment 2 werden auf dem Stabilometer I (Kap. 3.1.2) ausgeführt. Der Unterschied zu den Aufgaben in Experiment 1 besteht darin, dass teilweise andere Zugfedern eingesetzt wurden. Bei keiner Aufgabe wurden die Federn mit der Federkonstante 0,21 N/mm (vgl. Experiment 1, z.B. Aufgabe *I-Starke Federn*) benutzt. Stattdessen wurden Federn mit der Federkonstante 0,12 N/mm (vgl. Experiment 1, z.B. Aufgabe *I-Standard*) und in Experiment 1 nicht verwendete Federn mit einer Federkonstante von 0,54 N/mm eingesetzt. Bei einigen Aufgaben wurde auf eine Unterstützung durch Zugfedern in der ml-Achse verzichtet (vgl. Kap. 4.3.6).

4.3.3 *Datenerfassung und Verarbeitung*

Es wurde die gleiche Messtechnik und die gleiche Software zur Korrektur der Messdaten eingesetzt wie in Experiment 1 (Kap. 3.1.4.2). Als abhängige Variable wurde ebenfalls der Root Mean Square Error (RMSE) während 30 s Aufgabenbewältigung berechnet (Kap. 3.1.5).

4.3.4 *Primäraufgaben auf dem Stabilometer*

Für die Replikation der Befunde zum Transfer von Aufgaben mit einer freigegebenen Achse auf Aufgaben mit zwei freigegebenen Achsen sollen die Übungs- und Transferaufgaben aus Experiment 1 übernommen werden. Das bedeutet, dass die Aufgabe *I-Standard* auch eine Transferaufgabe in Experiment 2 sein muss und die Aufgaben *I-ap* und *I-ml* jeweils von einer VG geübt werden müssen. Darüber hinaus soll die Leistung bei Transferaufgaben untersucht werden, bei denen die Abweichungen in den einzelnen Achsen durch eine andere Federunterstützung beeinflusst werden. So soll überprüft werden, ob tatsächlich die Abweichungen in der zusätzlich freigegebenen Achse für das Ausbleiben von Transfer verantwortlich sind, oder ob die Richtung der Achse entscheidend ist. Deshalb wird die Leistung bei folgenden Aufgaben im Pre- und im Posttest untersucht.

S-Standard: Entspricht der Aufgabe *I-Standard* aus Experiment 1 (vgl. Kap. 3.1.6).

S-Starke Federn (ap): Im Vergleich zur Aufgabe *S-Standard* werden in der ap-Achse stärkere Federn (0,54 N/mm) eingesetzt. In der ml-Achse werden ebenfalls die Federn mit einer Federkonstante von 0,12 N/mm eingesetzt.

S-Keine Federn (ml): Im Vergleich zur Aufgabe *S-Standard* werden in der ml-Achse keine Federn eingesetzt. In der ap-Achse werden ebenfalls die Federn mit einer Federkonstante von 0,12 N/mm eingesetzt.

Als Übungsaufgaben werden die Aufgaben *I-ap* und *I-ml* verwendet (vgl. Kap. 3.1.6).

4.3.5 Sekundäraufgabe Rückwärtszählen in 3er-Schritten

In diesem Experiment soll überprüft werden, ob das Ausbleiben von Transfer tatsächlich durch eine vermehrte bewegungsbezogenen Aufmerksamkeitszuwendung begründet werden kann.

Um Aufschluss zu bekommen, inwiefern die Stabilometeraufgaben Aufmerksamkeitsressourcen benötigen, wird ein Messinstrument gebraucht, das möglichst empfindlich gegenüber Veränderungen in den Ressourcenanforderungen ist. Allerdings sollten die Leistungen bei den Stabilometeraufgaben nicht aus anderen Gründen als einer Veränderung der Ressourcenanforderungen beeinflusst werden (Abernethy, 2001, S. 54).

Häufig wird dazu eine Sekundäraufgabe herangezogen, die gleichzeitig mit der Primäraufgabe (in diesem Experiment: Balancieren auf dem Stabilometer) ausgeführt werden muss. Diese Sekundäraufgabe sollte das Arbeitsgedächtnis stark beanspruchen. Erbringen VPn in mindestens einer der beiden Aufgaben (Primäraufgabe, Sekundäraufgabe) bei gleichzeitiger Bewältigung schlechtere Leistungen als in den jeweiligen Einzelaufgaben, kann dieses als Interferenz auf der Ebene des Arbeitsgedächtnisses interpretiert werden.

Die Auswahl einer geeigneten Sekundäraufgabe bedarf allerdings einiger Überlegungen. Abernethy (2001, S. 56) verweist auf zwei wichtige Entscheidungen bei der Auswahl einer Sekundäraufgabe. Erstens muss zwischen einer diskreten oder einer kontinuierlichen Aufgabe entschieden werden. Zweitens muss

überlegt werden, ob durch die Sekundäraufgabe eine strukturelle Interferenz provoziert werden soll.

Kontinuierliche Sekundäraufgaben, z.B. Rückwärtszählen in 3er-Schritten (Brown, Shumway-Cook & Woollacott, 1999), haben den Vorteil, dass sie relativ konstante Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis stellen. Dadurch soll verhindert werden, dass es während der Aufgabenbewältigung zu häufigem Wechsel der Aufmerksamkeitsorientierung zwischen den beiden Aufgaben kommt. Diskrete Sekundäraufgaben, z.B. das schnelle Reagieren auf auditive oder visuelle Stimuli zu verschiedenen Zeitpunkten der Primäraufgabe (Redfern et al., 2002), haben dagegen den Vorteil, den zeitlichen Verlauf der Aufmerksamkeitsorientierung untersuchen zu können. Da in diesem Experiment zunächst geklärt werden soll, ob es überhaupt zu einer stärkeren bewegungsbezogene Aufmerksamkeitszuwendung kommt, scheint eine kontinuierliche Sekundäraufgabe besser geeignet zu sein. Die Frage, ob diese Aufmerksamkeitsorientierung im Zusammenhang mit bestimmten Ereignissen steht, z.B. Auslenkung der Plattform bis an einen Anschlag, könnte dann in nachfolgenden Experimenten geklärt werden.

Unter struktureller Interferenz wird eine Interferenz verstanden, die dadurch verursacht wird, dass beide Aufgaben gleiche Prozesse in Anspruch nehmen. Wenn zwei Aufgaben beispielsweise die gleichen sensorischen Systeme, motorischen Systeme oder die gleichen Subsysteme des Arbeitsgedächtnisses nutzen, ist von einer strukturellen Interferenz auszugehen. Der Vorteil von Sekundäraufgaben mit struktureller Interferenz ist, dass insgesamt größere Interferenzen zu erwarten sind. Dadurch könnten auch geringe Unterschiede der Ressourcenanforderungen zwischen Einzelaufgabe und Doppelaufgabe aufgedeckt werden. Trotzdem soll in diesem Experiment keine Sekundäraufgabe gewählt werden, die zu strukturellen Interferenzen führt. Kommt es bei der Bewältigung der Sekundäraufgabe zu Teilkörperbewegungen, die eine Verlagerung des KSPs bewirken, z.B. durch Zeigebewegungen mit einem Arm, müssen unter Doppelaufgabenbedingungen andere posturale Synergien eingesetzt werden, als unter Einzelaufgabenbedingungen. Demnach kommen nur Sekundäraufgaben in Frage, die mit sehr geringen Verlagerungen des Körperschwerpunkts

einhergehen. Deswegen scheint eine Aufgabe mit verbalem Output als geeignet. Noch besser wäre eine Sekundäraufgabe, die ohne einen Output während der Bewältigung auskommt, z.B. das mentale Lösen einer Rechenaufgabe, bei der das Ergebnis erst nach Beendigung der Stabilometeraufgabe mitgeteilt wird. Diese Aufgaben haben allerdings den Nachteil, dass die Leistung nur schlecht quantifiziert werden kann. Sekundäraufgaben, die das visuelle System nutzen, z.B. visuo-motorisches Tracking (McIlroy et al., 1999), verändern wahrscheinlich die Art und Bedeutung der sensorischen Teilsysteme, die an der Lösung der Stabilometeraufgabe beteiligt sind. Darüber hinaus ist darauf hinzuweisen, dass diese Aufgaben als so genannte *suprapostural tasks* (Stoffregen et al., 2007) verstanden werden, die die Leistung in der Primäraufgabe sogar positiv beeinflussen könnten.

Deshalb wird für dieses Experiment die Aufgabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten* als Sekundäraufgabe gewählt. Bei dieser Aufgabe wird den VPn eine dreistellige Zahl vorgegeben. Wenn die Zahl ausgesprochen ist, haben die VPn 30 s Zeit so oft wie möglich von der zuletzt genannten Zahl 3 zu subtrahieren. Der Versuchsleiter protokolliert die genannten Zahlen auf einem Kontrollbogen (Anhang). Abhängige Variable ist die Anzahl der richtigen Zählsschritte. Als Startzahlen wurden Zahlen mit relativ großen Ziffern an der Zehnerstelle gewählt, damit es erst spät zu einem Hunderterwechsel kommen kann. Da die zum Aussprechen der Zahlen benötigte Zeit abhängig von der Anzahl der Silben sein könnte, wurden als Startzahl keine Zahlen mit einer sieben oder einer eins an der Hunderterstelle gewählt. Und damit auch bei einem möglichen Hunderterwechsel diese Ziffern nicht genannt werden müssen, wird auch auf Zweihunderter und Achthunderter-Startzahlen verzichtet. Möglicherweise haben einige VPn eine besonders ausgeprägte Expertise in der Dreierreihe des kleinen Einmaleins. Deshalb werden nur Startzahlen gewählt, die nicht auf die Reihe: X30, X27, X24 ... hinauslaufen. Wenn die Aufgabe einzeln ausgeführt wird, beginnen die VPn mit der Startzahl 998.

4.3.6 Übungs- und Transferaufgaben

Neben den Primäraufgaben und der Sekundäraufgabe, jeweils als Einzelaufgabe, werden alle Transferaufgaben auf dem Stabilometer mit der Aufgabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten* als Doppelaufgabe kombiniert. Dadurch ergeben sich folgende Doppelaufgaben:

D-Standard: Gleichzeitig zur Aufgabe *S-Standard* wird den VPn die Aufgabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten* gestellt, beginnend bei 489.

D-Starke Federn (ap): Gleichzeitig zur Aufgabe *S-Starke Federn (ap)* wird den VPn die Aufgabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten* gestellt, beginnend bei 394.

D-Keine Federn (ml): Gleichzeitig zur Aufgabe *S-Keine Federn (ml)* wird den VPn die Aufgabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten* gestellt, beginnend bei 988.

Insgesamt gibt es also zwei Aufgaben, die von verschiedenen VGn während der Intervention geübt werden, drei Transferaufgaben auf dem Stabilometer I, die Aufgabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten*, und die drei möglichen Kombinationen der Stabilometeraufgaben mit der Aufgabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten* (Tab. 10).

Tab. 10 Übersicht über die Aufgaben des Experiments 2.

Aufgabe	freigegebene Achsen	Federkonstante (ap) [N/mm]	Federkonstante (ml) [N/mm]	Startzahl
S-Standard	a/p, m/l	0,12	0,12	-
S-Starke Federn (ap)	a/p, m/l	0,54	0,12	-
S-Keine Federn (ml)	a/p, m/l	0,12	-	-
D-Standard	a/p, m/l	0,12	0,12	489
D-Starke Federn (ap)	a/p, m/l	0,54	0,12	394
D-Keine Federn (ml)	a/p, m/l	0,12	-	988
I-ap	a/p	0,12	-	-
I-ml	m/l	-	0,12	-
Rückwärtszählen in 3er-Schritten	-	-	-	998

Bei Experimenten mit Doppelaufgaben muss ein weiterer wichtiger Aspekt beachtet werden, nämlich die Aufgabenpriorisierung. Über unterschiedliche Instruktionen könnten VPn dazu angeleitet werden eine der beiden Aufgaben zu priorisieren. Ogden, Jerrold & Eisner (1979) unterscheiden zwischen zwei Möglichkeiten: dem *Dual-Task-Paradigm* und dem *Secondary-Task-Paradigm*. Das *Dual-Task-Paradigm* ist dadurch gekennzeichnet, dass instruiert wird, beide Aufgaben gleichermaßen zu priorisieren. Problematisch daran ist, dass sowohl inter- als auch intraindividuell unterschiedlich priorisiert werden könnte. Beim *Secondary-Task-Paradigm* wird instruiert die Primäraufgabe zu priorisieren. Typischerweise sollten Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Sekundäraufgabe gefunden werden, die dann als Aufmerksamkeitsanforderungen der Primäraufgabe interpretiert werden können. Aus diesem Grund sollte das *Secondary-Task-Paradigm* gut für die Zielsetzung dieses Experiments geeignet sein. Es besteht allerdings die Gefahr, dass eine instruierte Priorisierung der Stabilometeraufgabe an sich schon zu einer bewegungsbezogenen Aufmerksamkeitsorientierung führt. Die dritte Möglichkeit, die Priorisierung der Sekundäraufgabe,

wird nur relativ selten in Experimenten verwendet (z.B. Puttemans et al., 2005). Diese Variante verhindert, genau wie das *Secondary-Task-Paradigm*, dass VPn unterschiedlich priorisieren. Zusätzlich wird das Problem der instruktionsbedingten Aufmerksamkeitsorientierung auf die Primäraufgabe vermieden. Dafür besteht das Problem, dass durch die priorisierte Sekundäraufgabe eine Aufmerksamkeitsorientierung auf die Primäraufgabe verhindert werden könnte. Dieses Problem scheint im Vergleich zu den beiden anderen Instruktionen das geringste zu sein. Sollten sich Doppeltätigkeitskosten zeigen, können diese tatsächlich als Aufmerksamkeitsanforderungen der Primäraufgabe interpretiert werden. Deswegen wird in diesem Experiment eine Priorisierung der Sekundäraufgabe instruiert.

Als Doppeltätigkeitskosten werden jeweils die Differenzen zwischen der Leistung bei einer Aufgabe unter Einzeltätigkeit und der Aufgabe unter Doppeltätigkeit berechnet. Beispielsweise werden die Doppeltätigkeitskosten bei der Aufgabe *S/D-Standard* in der *ap*-Achse wie folgt berechnet: $RMSE(D-Standard(ap)) - RMSE(S-Standard(ap))$. Auf Seiten der Sekundäraufgabe wird in diesem Beispiel die Differenz zwischen der mittleren Anzahl der Zähler Schritte der beiden Versuche unter Einzeltätigkeit (vgl. Kap. 4.3.6) und der Anzahl der Zähler Schritte bei den Aufgaben *D-Standard*, *D-Starke Federn (ap)* und *D-Keine Federn (ml)* als Doppeltätigkeitskosten berechnet.

4.3.7 Untersuchungsdesign

4.3.7.1 Vorgeschaltete Aneignungsphase

Wie in Experiment 1 sollen die VPn bereits in einer vorgeschalteten Aneignungsphase die Aufgaben des Pretests bewältigen. Dadurch soll vermieden werden, dass es während des Pretests zu ungünstigen Versuchen kommt (z.B. durch das Abstützen an der Wand). Außerdem sollen starke Pretesteffekte (Bortz & Döring, S. 539) vermieden werden (vgl. Kap. 3.1.7.1). Da die vorgeschaltete Aneignungsphase in Experiment 1 möglicherweise die Pretestergebnisse stärker positiv beeinflusst hat als die Posttestergebnisse und es nicht auszuschließen ist, dass sich dieser Einfluss zwischen den einzelnen VGn un-

terscheidet, wird in Experiment 2 ein Tag Pause zwischen der Aneignungsphase und dem Pretest eingelegt. Dadurch soll der Einfluss der vorgeschalteten Aneignungsphase auf den Pretest reduziert werden.

Die Aneignungsphase besteht aus insgesamt drei Durchgängen, in denen jede der Stabilometeraufgaben einmal einzeln und einmal mit der Aufgabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten* als Sekundäraufgabe durchgeführt wird. Zusätzlich wird vor und nach den sechs Aufgaben auf dem Stabilometer die Aufgabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten* einzeln im Sitzen ausgeführt. Die Aufgaben wurden den VPn in einer von vier Reihenfolgen gestellt (vgl. Tab. 11). Falls sich eine VPn an der Wand abstützt, vom Versuchsleiter gestützt wird, oder die vorgegebene Haltung verändert, wird sie darauf hingewiesen, dieses möglichst zu unterlassen, und führt die Aufgabe in der verbleibenden Zeit weiter aus. Zwischen den einzelnen Aufgaben gibt es einminütige Pausen, in denen die VPn das Spiel *Tetris* auf einem *Game Boy* (Nintendo) spielen. Dadurch soll gewährleistet werden, dass sie sich während der Pause nicht mit den Gleichgewichtsaufgaben beschäftigen.

Tab. 11 Reihenfolgen der Aufgaben während der vorgeschalteten Aneignungsphase in Experiment 2

Reihenfolge 1	Reihenfolge 2	Reihenfolge 3	Reihenfolge 4
Rückwärtszählen	Rückwärtszählen	Rückwärtszählen	Rückwärtszählen
S-Starke Federn (ap)	S-Keine Federn (ml)	D-Starke Federn (ap)	D-Keine Federn (ml)
S-Standard	S-Standard	D-Standard	D-Standard
S-Keine Federn (ml)	S-Starke Federn (ap)	D-Keine Federn (ml)	D-Starke Federn (ap)
D-Starke Federn (ap)	D-Keine Federn (ml)	S-Starke Federn (ap)	S-Keine Federn (ml)
D-Standard	D-Standard	S-Standard	S-Standard
D-Keine Federn (ml)	D-Starke Federn (ap)	S-Keine Federn (ml)	S-Starke Federn (ap)
Rückwärtszählen	Rückwärtszählen	Rückwärtszählen	Rückwärtszählen

4.3.7.2 Pretest

Am folgenden Tag fand der Pretest statt. Er bestand aus einem Durchgang der gleichen Aufgaben in der gleichen Reihenfolge wie während der Aneignungsphase (Tab. 11). Während der 30 s Aufgabenbewältigung wurden die Abweichungen der Stabilometer-Plattform gemessen und die genannten Zähler Schritte protokolliert. Auch zwischen den einzelnen Aufgaben des Pretests gab es einminütige Pausen, in denen die VPn das Spiel *Tetris* spielten.

Nach dem Pretest wurden die VPn, parallelisiert (Bortz & Döring, 2006, S. 526) nach Pretest-Ergebnissen der Stabilometeraufgaben, Aufgabenreihenfolge und Geschlecht, zwei VGn (VG_{ap} , VG_{ml}) und einer KG zugeordnet.

4.3.7.3 Intervention

Während einer vierwöchigen Intervention übten die VPn jeweils eine der beiden Aufgaben auf dem Stabilometer. Die VG_{ap} übte die Aufgabe *I-ap*, die VG_{ml} , die Aufgabe *I-ml* und die KG übte keine Aufgabe. Das Training wurde zweimal wöchentlich durchgeführt und umfasste zehn Durchgänge von jeweils einer Minute mit einminütigen Pausen. Zwischen den einzelnen Trainingseinheiten lag mindestens ein trainingsfreier Tag.

4.3.7.4 Posttest

Fünf bis sieben Tage nach der letzten Übungseinheit bzw. fünf Wochen nach dem Pretest (KG) fand der Posttest statt. Der Ablauf des Posttests war identisch mit dem des Pretests (Kap. 4.3.7.2), allerdings ohne vorgeschaltete Aneignungsphase.

4.4 Operationalisierte Forschungshypothesen

Die VGn und die KG dieses Experiments unterscheiden sich von der VG_{ap} , der VG_{ml} und der KG aus Experiment 1 lediglich dadurch, dass andere VPn der gleichen Population untersucht wurden, die vorgeschaltete Aneignungsphase mit größerem Abstand zum Pretest durchgeführt wurde und teilweise andere Transferaufgaben bewältigt werden mussten. Deshalb sollten sich für diejeni-

gen Aufgaben, die schon in Experiment 1 untersucht wurden, tendenziell die gleichen Ergebnisse zeigen, wie in Experiment 1. Daher wird zum einen keine Reduktion der RMSEs in der Achse erwartet, die während der Übungsphase arretiert war.

OH1a: VG_{ap} reduziert bei Aufgabe *S-Standard* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

OH1b: VG_{ml} reduziert bei Aufgabe *S-Standard* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

Zum anderen wird erwartet, dass sich die Ergebnisse bezüglich der Achse, die während der Übungsphase freigegeben war, replizieren lassen. Es wird also Transfer für die VG_{ap} erwartet, wohingegen VG_{ml} sich, wie in Experiment 1, nicht verbessern sollte.

OH2: VG_{ap} reduziert bei Aufgabe *S-Standard* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

OH3: VG_{ml} reduziert bei Aufgabe *S-Standard* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

Es wird angenommen, dass die unterschiedlich großen Abweichungen in der jeweils nicht geübten Achse für die widersprüchlichen Befunde zu den Verbesserungen in der jeweils geübten Achse verantwortlich sind. Deshalb wird erwartet, dass sich diese Annahme bestätigt, wenn durch veränderte Federkonstanten, die Fehler in der jeweils nicht geübten Achse variiert werden. Zum einen sollte VG_{ml} die Abweichungen in der ml-Achse reduzieren, wenn die Federunterstützung in der ap-Achse stärker ist.

OH4: VG_{ml} reduziert bei Aufgabe *S-Starke Federn (ap)* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

Zum anderen sollte sich die VG_{ap} nicht verbessern können, wenn es keine Unterstützung durch Zugfedern in der ml-Achse gibt.

OH5: VG_{ap} reduziert bei Aufgabe *S-Keine Federn (ml)* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

Es wird vermutet, dass die größeren Abweichungen in der Achse, die während der Übungsphase nicht freigegeben war zu einer bewegungsbezogenen Aufmerksamkeitsorientierung geführt haben. Deshalb sollten bei diesen Aufgaben

höhere Doppeltätigkeitskosten auftreten als bei Aufgaben mit geringeren Abweichungen in der Achse, die während der Übungsphase arretiert war.

- OH6a: In VG_{ap} verändert sich der Unterschied der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Primäraufgabe (RMSE (ap)) zwischen der Aufgabe *D-Standard* und der Aufgabe *D-Keine Federn (ml)* vom Pre- zum Posttest stärker als in der KG.
- OH6b: In VG_{ap} verändert sich der Unterschied der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Primäraufgabe (RMSE (ml)) zwischen der Aufgabe *D-Standard* und der Aufgabe *D-Keine Federn (ml)* vom Pre- zum Posttest stärker als in der KG.
- OH6c: In VG_{ap} verändert sich der Unterschied der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Sekundäraufgabe (Zählschritte) zwischen der Aufgabe *D-Standard* und der Aufgabe *D-Keine Federn (ml)* vom Pre- zum Posttest stärker als in der KG.
- OH7a: In VG_{ml} verändert sich der Unterschied der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Primäraufgabe (RMSE (ap)) zwischen der Aufgabe *D-Starke Federn (ap)* und der Aufgabe *D-Standard* vom Pre- zum Posttest stärker als in der KG.
- OH7b: In VG_{ml} verändert sich der Unterschied der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Primäraufgabe (RMSE (ml)) zwischen der Aufgabe *D-Starke Federn (ap)* und der Aufgabe *D-Standard* vom Pre- zum Posttest stärker als in der KG.
- OH7c: In VG_{ml} verändert sich der Unterschied der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Sekundäraufgabe (Zählschritte) zwischen der Aufgabe *D-Starke Federn (ap)* und der Aufgabe *D-Standard* vom Pre- zum Posttest stärker als in der KG.

4.5 Statistische Auswertung

Zur statistischen Prüfung der operationalisierten Forschungshypothesen wurde die Software SPSS 18.0 verwendet.

Die Normalverteilung der einzelnen Zellen ist eine Voraussetzung der hypothesenprüfenden varianzanalytischen Verfahren (Bortz, 2005, S. 284-285; S. 328).

Deshalb wurden zunächst alle Daten der RMSEs zu beiden Messzeitpunkten bei allen Aufgaben mit dem Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest mit Lilliefors-Schranken (Lilliefors, 1967; Bortz et al., 2008, S. 253-255) auf Normalverteilung geprüft (vgl. Kap. 3.3). Um das β -Fehlerniveau gering zu halten, wird die Nullhypothese (die Verteilung der empirischen Daten unterscheidet sich nicht von der Normalverteilung) ab einem α -Fehlerniveau von $\alpha = .20$ verworfen (Bortz et al., 2008, S. 251).

Anschließend wird überprüft, ob die Reihenfolge der Aufgaben während der Tests einen Einfluss auf die Leistung der einzelnen Aufgaben hatte. Dazu werden zwei vierfaktorielle Varianzanalysen (MZP x Abhängige Variable x VG x Reihenfolge) berechnet, jeweils eine für die RMSEs bei den Primäraufgaben und eine für die Zählschritte bei der Sekundäraufgabe. Der Faktor MZP ist jeweils zweifach gestuft, der Faktor VG dreifach und der Faktor Reihenfolge vierfach. Der Faktor *Abhängige Variable* ist bei den Stabilometeraufgaben zwölfmal gestuft und bei der Sekundäraufgabe Rückwärtszählen in 3er-Schritten fünffach. Bei dieser Varianzanalyse werden bei Verletzung der Sphärizität die Freiheitsgrade nach Greenhouse und Geisser (1959) korrigiert. Insbesondere ist interessant, ob zuvor bewältigte Aufgaben einen Einfluss auf nachfolgende Aufgaben haben. Dazu werden sämtliche Interaktionen an denen die Faktoren Abhängige Variable und Reihenfolge beteiligt sind berücksichtigt (Abhängige Variable x Reihenfolge, Abhängige Variable x Reihenfolge x MZP, Abhängige Variable x Reihenfolge x VG, Abhängige Variable x Reihenfolge x MZP x VG).

Für diejenigen Hypothesen, in denen Erwartungen zu Veränderung des RMSEs vom Pre- zum Posttest in einer VG und der KG formuliert wurden, wird eine zweifaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) Messzeitpunkt (MZP) x VG (VG; Interventionsgruppe, KG) mit Messwiederholung auf dem Faktor MZP (Pretest, Posttest) berechnet. Die Interaktionseffekte MZP x VG sind von besonderer Bedeutung, da sie Hinweise auf eine unterschiedliche Veränderung vom Pretest zum Posttest zwischen der VG und der KG geben. Für Unterschiedshypothesen wird das Signifikanzniveau auf $p < .05$ bei einseitiger Prüfung festgelegt. Entspricht die Nullhypothese der Erwartung wird auf ein Signifikanzniveau von $p > .20$ beidseitig geprüft (Bortz & Döring, 2006, S. 650-651). Um zu überprüfen,

ob mögliche signifikante Interaktionseffekte aufgrund von Leistungseinbußen der KG auftreten (vgl. Kap. 3.1.7.1), werden die Interaktionen durch zwei post-hoc durchgeführte T-Tests für abhängige Stichproben aufgeklärt, in denen die Veränderung der beiden beteiligten Gruppen vom Pretest zum Posttest untersucht werden.

Die Hypothesen zu den Doppeltätigkeitskosten werden jeweils mit Hilfe einer dreifaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) MZP (2) x Aufgabe (2) x VG (2) geprüft. Zur Prüfung der Hypothese wird die Dreifachinteraktion MZP x VG x Aufgabe auf ein Signifikanzniveau von $p < .05$ geprüft. Um diese Interaktion post-hoc aufzuschlüsseln, werden zwei zweifaktorielle Varianzanalysen MZP x Aufgabe für die VG und die KG einzeln berechnet. Deren Interaktionseffekte werden mit Hilfe von T-Tests für abhängige Stichproben zu Vergleichen der Pretest- und der Posttestergebnisse der jeweiligen Aufgabe und Vergleiche der beiden Aufgaben beim Pretest und beim Posttest erklärt.

Immer wenn multiple statistische Verfahren eine Unterschiedshypothese prüfen (z.B. OH6a-OH6c), werden die p -Werte nach Benjamini und Hochberg (1995) korrigiert (p_{adj}) um die *False Discovery Rate* zu kontrollieren. Als Effektgröße wird das partielle eta-Quadrat (η^2_p) berechnet.

4.6 Ergebnisse Experiment 2

4.6.1 Voraussetzungsüberprüfungen

Die Ergebnisse der Prüfung der einzelnen Zellen auf Normalverteilung sind im Anhang zu finden. Von den 96 Tests auf Normalverteilung weisen 23 einen p -Wert von $p < .200$ auf. Diese sind können teilweise dadurch begründet werden, dass die Verteilungen als schiefe Verteilungen einzuordnen sind (Hopkins & Weeks, 1990). Da Voraussetzungsverletzungen aufgrund schiefer Populationsverteilungen zu vernachlässigen sind (Bortz, 2005, S. 287) und Varianzanalysen bei gleichgroßen Stichproben relativ robust gegen Voraussetzungsverletzungen sind (Bortz, 2005, S. 287), werden die hypothesenprüfenden Varianzanalysen trotz einiger Verletzungen der Normalverteilung berechnet.

Die Interaktionseffekte mit den Faktoren Abhängige Variable und Reihenfolge der vierfaktoriellen Varianzanalyse zur Überprüfung des Einflusses der Reihenfolge auf die Leistung der einzelnen Aufgaben sind in Tab. 12 für die Stabilometeraufgaben und in Tab. 13 für die Aufgabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten* dargestellt. Es zeigt sich jeweils ein signifikanter Interaktionseffekt *Abhängige Variable x Reihenfolge*, der darauf hinweist, dass die Aufgabenreihenfolge einen Einfluss auf die Leistung bei den einzelnen Aufgaben hat. Da dieses aber unabhängig von dem Faktor VG ist und die Reihenfolgen gleichmäßig in den VGn verteilt sind, können die hypothesenprüfenden Varianzanalysen interpretiert werden, ohne diese Interaktionen zu berücksichtigen.

Tab. 12 Überprüfung des Einflusses der Aufgabenreihenfolge auf die Leistungen bei den Stabilometeraufgaben in Experiment 2. Interaktionseffekte mit den Faktoren Abhängige Variable und Reihenfolge der vierfaktoriellen Varianzanalyse (*Abhängige Variable x Reihenfolge x MZP x VG*).

Interaktion	<i>df</i> (Greenhouse-Geisser)	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2_p
Abhängige Variable * Reihenfolge	12,15; 97,17	2,13	.021	.21
Abhängige Variable * Reihenfolge * MZP	18,39; 147,15	1,19	.274	.13
Abhängige Variable * Reihenfolge * VG	24,29; 97,17	0,83	.692	.17
Abhängige Variable * Reihenfolge * MZP * VG	36,79; 147,15	0,88	.672	.18

Tab. 13 Überprüfung des Einflusses der Aufgabenreihenfolge auf die Leistungen bei der Sekundäraufgabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten*. Interaktionseffekte mit den Faktoren Abhängige Variable und Reihenfolge der vierfaktoriellen Varianzanalyse (*Abhängige Variable x Reihenfolge x MZP x VG*).

Interaktion	<i>df</i> (Greenhouse-Geisser)	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2_p
Abhängige Variable x Reihenfolge	10,12; 80,96	3,13	.002	.28
Abhängige Variable x Reihenfolge x MZP	8,36; 66,87	0,25	.982	.03
Abhängige Variable x Reihenfolge x VG	20,24; 80,96	1,25	.235	.24
Abhängige Variable x Reihenfolge x MZP x VG	16,72; 66,87	0,72	.775	.15

4.6.2 Deskriptive Statistik

In Tab. 14 wird ein Überblick über die Mittelwerte und Standardabweichungen der RMSEs aller VGn bei der Bewältigung der Stabilometeraufgaben gegeben. Tab. 15 enthält die Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen VGn bei der Aufgabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten*. Die Übersichtstabellen beinhalten auch diejenigen Aufgaben, die nicht zur Hypothesenprüfung herangezogen werden.

Tab. 14 Mittelwerte und Standardabweichung des RMSEs

		<i>S - Standard</i>				<i>S - Starke Federn (ap)</i>				<i>S - Keine Federn (ml)</i>			
		<i>ap</i>		<i>ml</i>		<i>ap</i>		<i>ml</i>		<i>ap</i>		<i>ml</i>	
		<i>m</i>	<i>sd</i>	<i>m</i>	<i>sd</i>	<i>m</i>	<i>sd</i>	<i>m</i>	<i>sd</i>	<i>m</i>	<i>sd</i>	<i>m</i>	<i>sd</i>
VG	pre	7,04	±0,77	5,29	±0,77	5,01	±1,18	4,74	±0,93	7,51	±0,43	6,97	±0,70
"ap"	post	6,41	±1,14	5,47	±1,16	4,60	±1,32	4,33	±0,98	7,12	±0,76	6,19	±0,97
VG	pre	6,94	±0,97	5,62	±1,05	4,99	±1,23	5,24	±1,28	7,40	±0,48	7,16	±0,80
"ml"	post	7,34	±0,64	4,72	±0,66	4,34	±1,31	3,90	±1,27	8,02	±0,57	6,54	±0,52
KG	pre	6,95	±0,79	5,42	±1,19	4,42	±1,39	4,50	±1,79	7,61	±0,45	7,45	±0,55
	post	6,98	±0,69	4,95	±1,21	4,15	±1,13	4,16	±1,38	7,41	±0,53	6,71	±0,81

		<i>D - Standard</i>				<i>D - Starke Federn (ap)</i>				<i>D - Keine Federn (ml)</i>			
		<i>ap</i>		<i>ml</i>		<i>ap</i>		<i>ml</i>		<i>ap</i>		<i>ml</i>	
		<i>m</i>	<i>sd</i>	<i>m</i>	<i>sd</i>	<i>m</i>	<i>sd</i>	<i>m</i>	<i>sd</i>	<i>m</i>	<i>sd</i>	<i>m</i>	<i>sd</i>
VG	pre	7,11	±0,51	5,47	±0,93	5,35	±1,57	4,34	±1,16	7,38	±0,94	7,51	±0,50
"ap"	post	6,67	±1,04	5,11	±1,17	4,21	±1,13	4,75	±1,16	7,27	±0,70	6,25	±1,01
VG	pre	6,73	±0,96	5,58	±1,03	5,25	±1,14	5,19	±1,39	7,38	±0,76	7,35	±0,80
"ml"	post	7,48	±0,80	4,88	±1,58	5,07	±1,32	3,99	±1,52	7,68	±0,33	6,80	±0,61
KG	pre	7,45	±1,01	5,73	±1,27	5,21	±1,54	5,01	±2,09	7,21	±0,86	7,44	±1,08
	post	6,95	±1,34	5,49	±1,28	5,07	±1,64	4,59	±1,48	7,77	±0,60	6,83	±0,71

Tab. 15 Mittelwerte und Standardabweichung Anzahl der richtigen Zählsschritte

		<i>Baseline</i>		<i>D - Standard</i>		<i>D - Starke Federn (ap)</i>		<i>D - Keine Federn (ml)</i>	
		<i>m</i>	<i>sd</i>	<i>m</i>	<i>sd</i>	<i>m</i>	<i>sd</i>	<i>m</i>	<i>sd</i>
VG	pre	26,50	±7,35	25,42	±7,25	25,50	±7,28	24,83	±6,67
"ap"	post	27,29	±8,33	27,17	±8,28	26,67	±8,73	25,50	±7,17
VG	pre	22,08	±4,16	19,42	±5,30	20,08	±7,22	19,92	±5,53
"ml"	post	22,54	±5,49	20,58	±6,64	22,42	±5,79	19,50	±5,35
KG	pre	21,58	±5,04	19,67	±4,62	20,17	±5,34	19,83	±4,41
	post	20,63	±4,91	20,00	±5,70	20,75	±4,39	19,83	±5,02

4.6.3 Hypothesenprüfung

4.6.3.1 Replikation Transfer auf nicht geübte Richtung

Trotz einzelner nicht hypothesenkonformer Ergebnisse wird in der Diskussion von Experiment 1 davon ausgegangen, dass die RMSEs in der Achse, die während der Übungsphase arretiert war, sich nicht reduziert haben. Deswegen wird

auch in diesem Experiment kein Transfer bezüglich der Abweichungen in dieser Achse erwartet.

OH1a: VG_{ap} reduziert bei Aufgabe *S-Standard* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

VG_{ap} erhöht den RMSE in der ml-Achse bei der Aufgabe *S-Standard* von $5,29^\circ$ auf $5,47^\circ$. In der KG reduziert sich der RMSE von $5,42^\circ$ auf $4,95^\circ$ (Tab. 14, Abb. 59). Der Interaktionseffekt MZP x VG unterschreitet zwar das für Prüfung von Nullhypothesen als Wunschhypothesen festgelegte Signifikanzniveau $p > .200$, $F(1, 22) = 2.77$; $p = .110$; $\eta^2_p = .11$. Allerdings kommt dies aufgrund der nicht veränderten Leistung in VG_{ap} , $t(11) = -0.57$, $p_{adj} > .999$ und einer tendenziellen Verbesserung der KG, $t(11) = 2.05$, $p_{adj} = .130$. Demnach kann die Hypothese OH1a bestätigt werden.

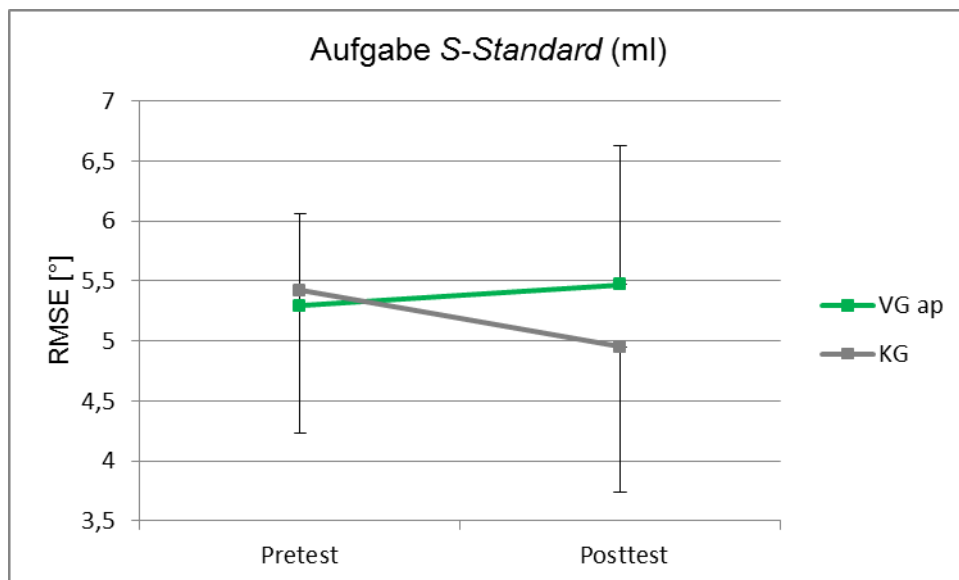


Abb. 59 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *S-Standard* (ml) in der VG_{ap} und der KG.

OH1b: VG_{ml} reduziert bei Aufgabe *S-Standard* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

In VG_{ml} steigt der RMSE in der ap-Achse bei der Aufgabe *S-Standard* von $6,94^\circ$ auf $7,34^\circ$. In der KG ändert sich der RMSE von $6,95^\circ$ auf $6,98^\circ$ (Tab. 14, Abb. 60). Der Interaktionseffekt MZP x VG weist darauf hin, dass die beiden Gruppen den RMSE nicht unterschiedlich verändern, $F(1, 22) = 1.11$; $p = .303$; $\eta^2_p = .05$. Das ist dadurch zu erklären, dass keine der beiden Gruppen ihre Leistung verändert, VG_{ml} , $t(11) = -1.43$, $p_{adj} = .360$, KG, $t(11) = -0.16$, $p_{adj} > .999$. OH1b wird bestätigt.

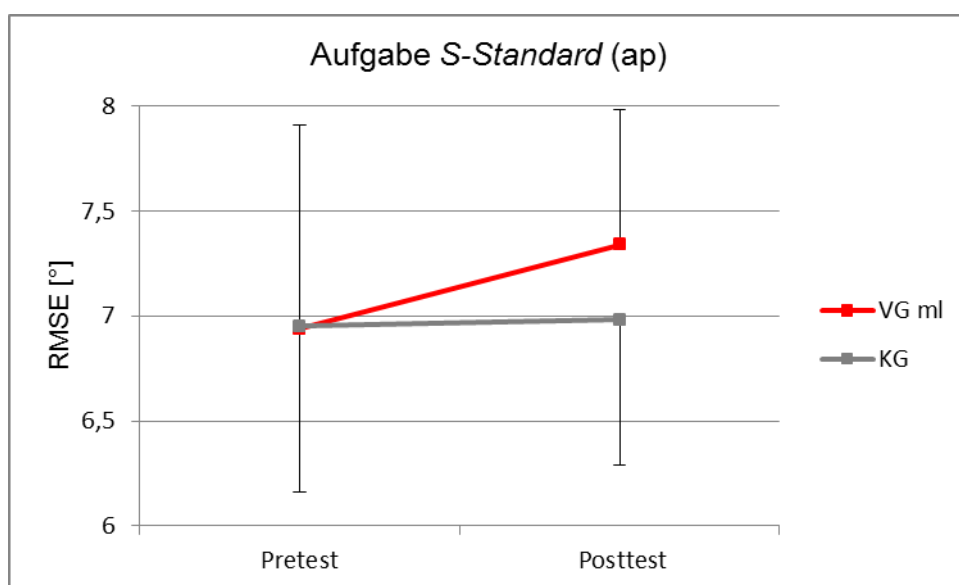


Abb. 60 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *S-Standard* (ap) in der VG_{ml} und der KG.

4.6.3.2 Replikation Transfer auf geübte Richtung mit zweiter freigegebener Achse

In Experiment 1 wurde die Hypothese formuliert, dass die VGn den RMSE in der Achse, die während des Übens freigegeben war, stärker reduzieren als die KG. In VG_{ap} blieb ein Zweifel, weil der signifikante Interaktionseffekt MZP x VG eventuell auch durch einen unterschiedlichen Einfluss der Aneignungsphase auf die VG_{ap} und die KG begründet gewesen sein könnte. Deswegen sollte in

Experiment 2 diese Transferannahme erneut überprüft werden. Für die VG_{ml} konnte die Hypothese nicht bestätigt werden. Deshalb wird in Experiment 2 die Hypothese geprüft, dass erneut kein Transfer auftritt.

OH2: VG_{ap} reduziert bei Aufgabe *S-Standard* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

VG_{ap} reduziert den RMSE in der ap-Achse bei der Aufgabe *S-Standard* von $7,04^\circ$ auf $6,41^\circ$. In der KG steigt der RMSE von $6,95^\circ$ auf $6,98^\circ$ (Tab. 14, Abb. 61). Der Interaktionseffekt MZP x VG zeigt, dass die beiden Gruppen ihre Leistung unterschiedlich verändern, $F(1, 22) = 5.10$; $p = .017$; $\eta^2_p = .19$. Die Interaktion ist durch die signifikante Verbesserung der VG_{ap} , $t(11) = 3.09$, $p_{adj} = .010$, bei gleichbleibender Leistung der KG, $t(11) = -0.16$, $p_{adj} > .999$, zu erklären. OH2 kann bestätigt werden.

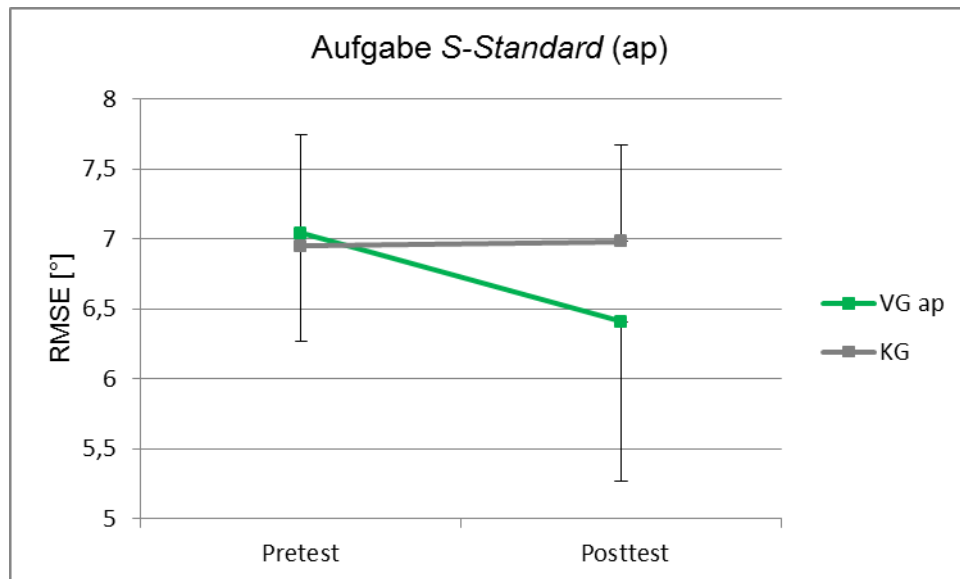


Abb. 61 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *S-Standard* (ap) in der VG_{ap} und der KG.

OH3: VG_{ml} reduziert bei Aufgabe *S-Standard* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

VG_{ml} reduziert den RMSE in der ml-Achse bei der Aufgabe *S-Standard* von $5,62^\circ$ auf $4,72^\circ$. Die KG senkt den RMSE von $5,42^\circ$ auf $4,95^\circ$ (Tab. 14, Abb. 62). Der Interaktionseffekt MZP x VG zeigt, dass die beiden Gruppen ihre Leistung nicht unterschiedlich verändern, $F(1, 22) = 1.49$; $p = .235$; $\eta^2_p = .06$. Aufgrund der signifikanten Reduktion des RMSEs in der VG_{ml} , $t(11) = 3.37$, $p_{adj} = .012$, bei tendenzieller Verbesserung der KG, $t(11) = 2.05$, $p_{adj} = .130$, muss diese Interaktion vorsichtig interpretiert werden. OH3 kann deshalb nur mit Einschränkungen der internen Validität bestätigt werden.

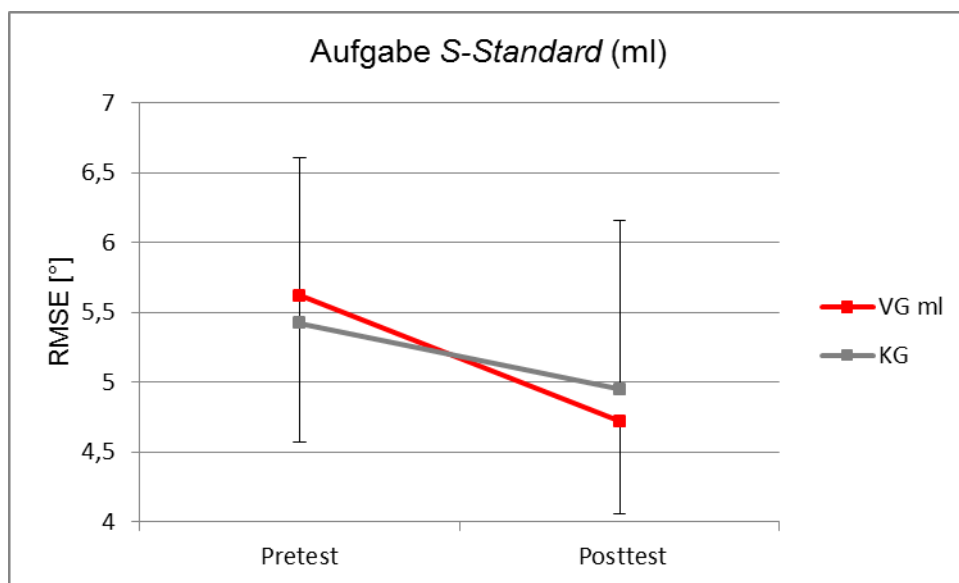


Abb. 62 Mittelwerte und Standardabweichungen bei Pretest und Posttest der Aufgabe *S-Standard* (ml) in der VG_{ml} und der KG.

4.6.3.3 Transfer bei Variation der Federkonstante

Wenn im Vergleich zur Aufgabe *S-Standard* die Federn so variiert werden, dass die Abweichungen in der während der Übungsphase arretierten Achse deutlich verändert werden, sollte sich dieses auf den RMSE in der jeweils anderen Achse auswirken. Wird die Federkonstante erhöht, wird von einem Transfer ausgegangen, auch wenn dieser für die Aufgabe *S-Standard* nicht erwartet wurde. Wird hingegen die Federunterstützung reduziert, sollte der Transfer ausbleiben, auch wenn der RMSE bei der Aufgabe *S-Standard* reduziert werden konnte.

OH4: VG_{ml} reduziert bei Aufgabe *S-Starke Federn (ap)* den RMSE in der ml-Achse vom Pretest zum Posttest stärker als die KG.

VG_{ml} reduziert den RMSE in der ml-Achse bei der Aufgabe *S-Starke Federn (ap)* von $5,24^\circ$ auf $3,90^\circ$. Die KG verringert den RMSE von $4,50^\circ$ auf $4,16^\circ$ (Tab. 14, Abb. 63). Der Interaktionseffekt MZP x VG zeigt, dass die beiden Gruppen ihre Leistung unterschiedlich verändern, $F(1, 22) = 9.38$; $p = .003$; $\eta^2_p = .30$. Das liegt an der signifikanten Reduktion des RMSEs in der VG_{ml} , $t(11) = 5.28$, $p_{adj} < .001$, bei nicht signifikanter Veränderung in der KG, $t(11) = 1.63$, $p_{adj} = .264$. OH4 wird bestätigt.

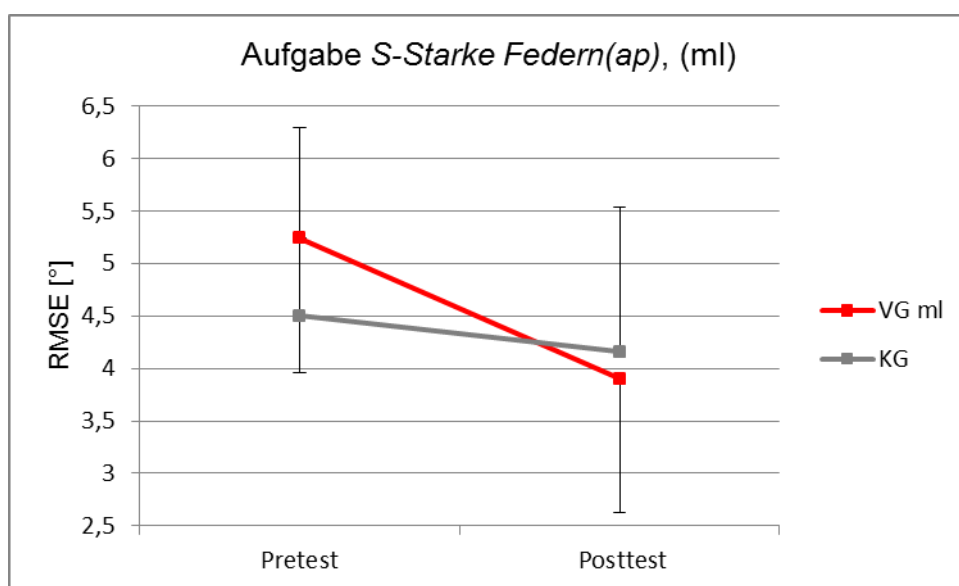


Abb. 63 Mittelwerte und Standardabweichungen des RMSEs in der ml-Achse bei Pretest und Posttest der Aufgabe *S-Starke Federn (ap)* in der VG_{ml} und der KG.

OH5: VG_{ap} reduziert bei Aufgabe *S-Keine Federn (ml)* den RMSE in der ap-Achse vom Pretest zum Posttest nicht stärker als die KG.

VG_{ap} reduziert den RMSE in der ap-Achse bei der Aufgabe *S-Keine Federn (ml)* von $7,51^\circ$ auf $7,12^\circ$. In der KG reduziert sich der RMSE von $7,61^\circ$ auf $7,41^\circ$ (Tab. 14, Abb. 64). Der Interaktionseffekt MZP x VG zeigt, dass sich der RMSE in den beiden Gruppen nicht unterschiedlich verändert, $F(1, 22) = 0.38$; $p = .545$; $\eta^2_p = .02$. Das liegt daran, dass beide Gruppen den RMSE vom Pretest zum Posttest nicht signifikant verändern, VG_{ap} , $t(11) = 1.48$, $p_{adj} = .334$, KG, $t(11) = 1.34$, $p_{adj} = .416$. OH5 kann bestätigt werden.

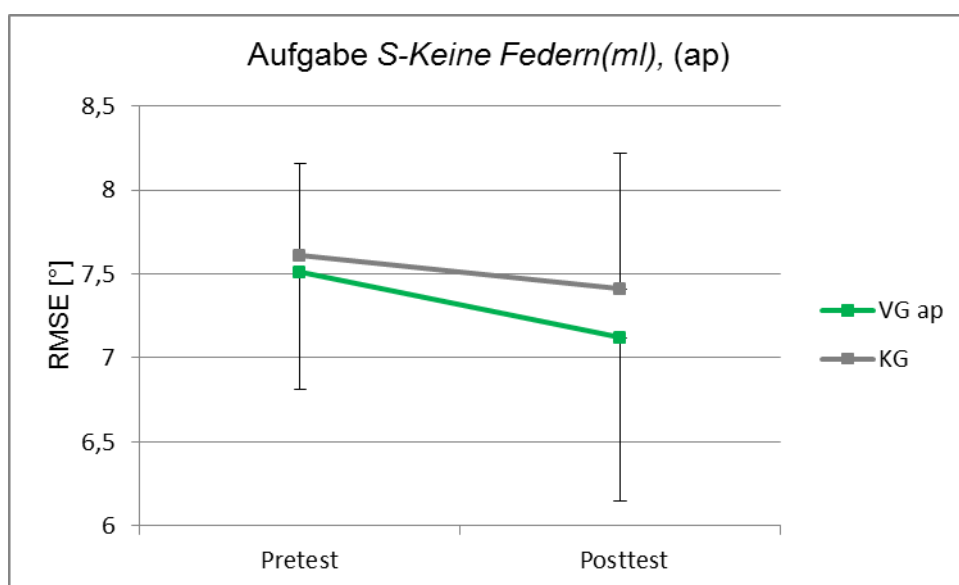


Abb. 64 Mittelwerte und Standardabweichungen des RMSEs in der ap-Achse bei Pretest und Posttest der Aufgabe *S-Keine Federn (ml)* in der VG_{ap} und der KG.

4.6.3.4 Doppeltätigkeitskosten

Ausbleibende Verbesserungen in der Achse, die während der Übungsphase freigegeben war, wurden in Experiment 1 damit erklärt, dass große Fehlerrückmeldungen in der anderen Achse zu einer bewegungsbezogenen Aufmerksamkeit geführt haben. Deshalb wird erwartet, dass sich bei den Aufgaben mit geringeren RMSEs in der zusätzlich freigeschalteten Achse, die Doppeltätigkeitskosten stärker reduzieren als in den Aufgaben mit größeren Fehlern in der zusätzlich freigegebenen Achse. Dagegen sollten sich die Doppeltätigkeitskosten in der KG nicht unterschiedlich verändern. Zur besseren Übersichtlichkeit sind in allen Abbildungen Doppeltätigkeitskosten, im Sinne von schlechteren Leistungen unter Doppeltätigkeit, als negative Werte dargestellt, unabhängig davon ob es sich um eine Differenz zwischen RMSEs oder Zählschritten handelt.

OH6a: In VG_{ap} verändert sich der Unterschied der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Primäraufgabe (RMSE (ap)) zwischen der Aufgabe *D-Standard* und der Aufgabe *D-Keine Federn (ml)* vom Pre- zum Posttest stärker als in der KG.

Für die RMSEs in der ap-Achse wird die Interaktion MZP (Pretest, Posttest) x Aufgabe (*D-Standard*, *D-Keine Federn (ml)*) x VG (VG_{ap} , KG) nicht signifikant, $F(1, 22) = 3.62$; $p_{adj} = .105$; $\eta^2_p = .14$ (Abb. 65). In der VG_{ap} verändern sich die Doppeltätigkeitskosten der beiden Aufgaben nicht unterschiedlich, MZP x Aufgabe, $F(1, 11) = 0.04$; $p_{adj} = .840$; $\eta^2_p < .01$, da sich die Doppeltätigkeitskosten in keiner der beiden Aufgaben verändern, *D-Standard*, $t(11) = -0.55$, $p_{adj} = .594$, *D-Keine Federn (ml)*, $t(11) = -0.86$, $p_{adj} = .814$. Die Doppeltätigkeitskosten zwischen den beiden Aufgaben unterscheiden sich weder beim Pretest, $t(11) = 0.63$, $p_{adj} = .544$, noch beim Posttest, $t(11) = 0.29$, $p_{adj} = .775$. In der KG gibt es dagegen eine signifikante Interaktion MZP x Aufgabe, $F(1, 11) = 10.04$; $p_{adj} = .018$; $\eta^2_p = .48$, die durch tendenziell gegensätzliche Veränderungen der Doppeltätigkeitskosten in den beiden Aufgaben zu erklären ist, *D-Standard*, $t(11) = 2.31$, $p_{adj} = .084$, *D-Keine Federn (ml)*, $t(11) = -2.49$, $p_{adj} = .060$. So gibt es beim Pretest noch höhere Doppeltätigkeitskosten bei der Aufgabe *D-Keine*

Federn (ml), $t(11) = 4.07$, $p_{adj} = .002$. Beim Posttest zeigen sich tendenziell geringere Doppeltätigkeitskosten bei dieser Aufgabe, $t(11) = -1.17$, $p_{adj} = .265$. OH6a wird abgelehnt.

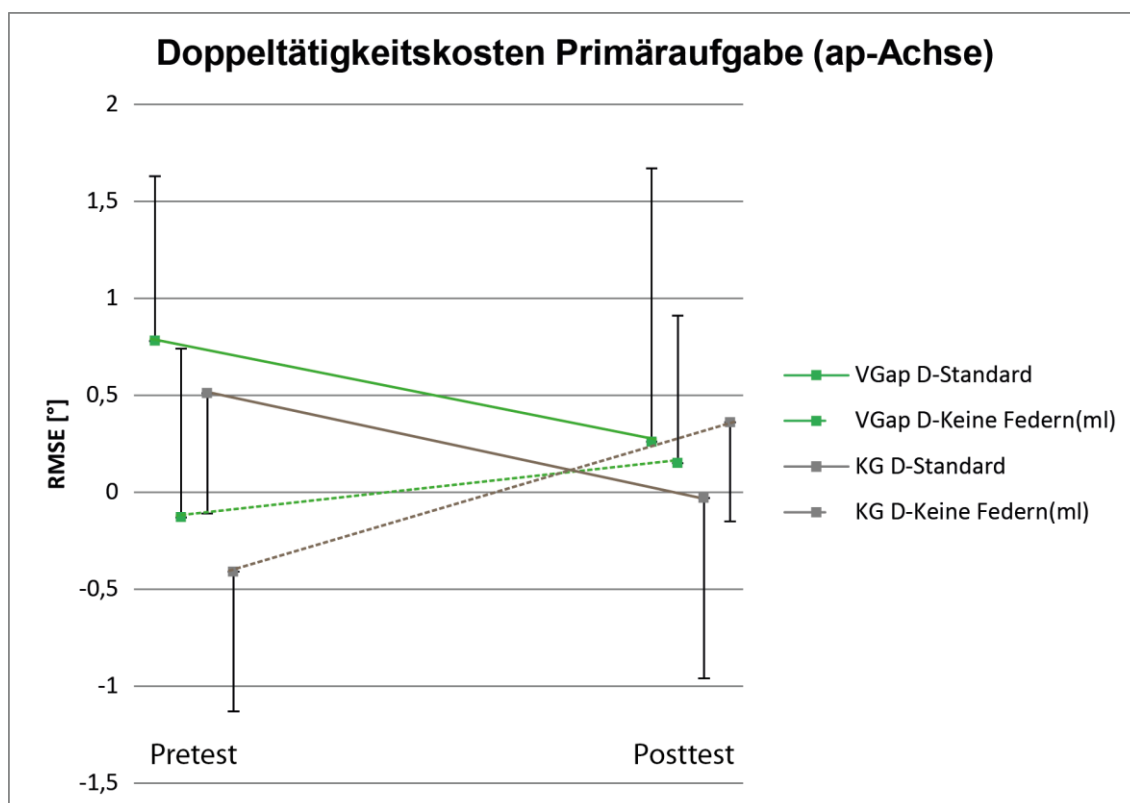


Abb. 65 Mittelwerte und Standardabweichungen der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Primäraufgabe (RMSE in der ap-Achse) bei Pretest und Posttest der Aufgaben *D-Standard* und *D-Keine Federn (ml)* in der VG_{ap} und der KG.

OH6b: In VG_{ap} verändert sich der Unterschied der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Primäraufgabe (RMSE (ml)) zwischen der Aufgabe *D-Standard* und der Aufgabe *D-Keine Federn (ml)* vom Pre- zum Posttest stärker als in der KG.

Für die RMSEs in der ml-Achse wird die Interaktion MZP (Pretest, Posttest) x Aufgabe (*D-Standard*, *D-Keine Federn (ml)*) x VG (VG_{ap} , KG) nicht signifikant, $F(1, 22) = 0.04$; $p_{adj} > .999$; $\eta^2_p < .01$ (Abb. 66). Das ist dadurch zu erklären, dass sich die Doppeltätigkeitskosten in keiner der Gruppen unterschiedlich verändern, VG_{ap} , MZP x Aufgabe, $F(1, 11) = 0.01$; $p_{adj} = .922$; $\eta^2_p < .01$, KG, MZP x

Aufgabe, $F(1, 11) = 0.03$; $p_{adj} > .999$; $\eta^2_p < .01$. In keiner der beiden Gruppen verändern sich die Doppeltätigkeitskosten in einer der beiden Aufgaben, VG_{ap} , D -Standard, $t(11) = 1.01$, $p_{adj} = .336$, VG_{ap} , D -Keine Federn (ml), $t(11) = 2.20$, $p_{adj} = .100$, KG , D -Standard, $t(11) = -0.71$, $p_{adj} = .986$, KG , D -Keine Federn (ml), $t(11) = -0.37$, $p_{adj} > .999$. Bei keiner der beiden Gruppen unterscheiden sich die Doppeltätigkeitskosten zwischen den Aufgaben zu einem der beiden MZPs, VG_{ap} , Pretest, $t(11) = -1.01$, $p_{adj} = .337$, VG_{ap} , Posttest, $t(11) = -0.76$, $p_{adj} = .461$, KG , Pretest, $t(11) = 1.07$, $p_{adj} = .307$, KG , Posttest, $t(11) = 0.97$, $p_{adj} = .351$. OH6b wird abgelehnt.

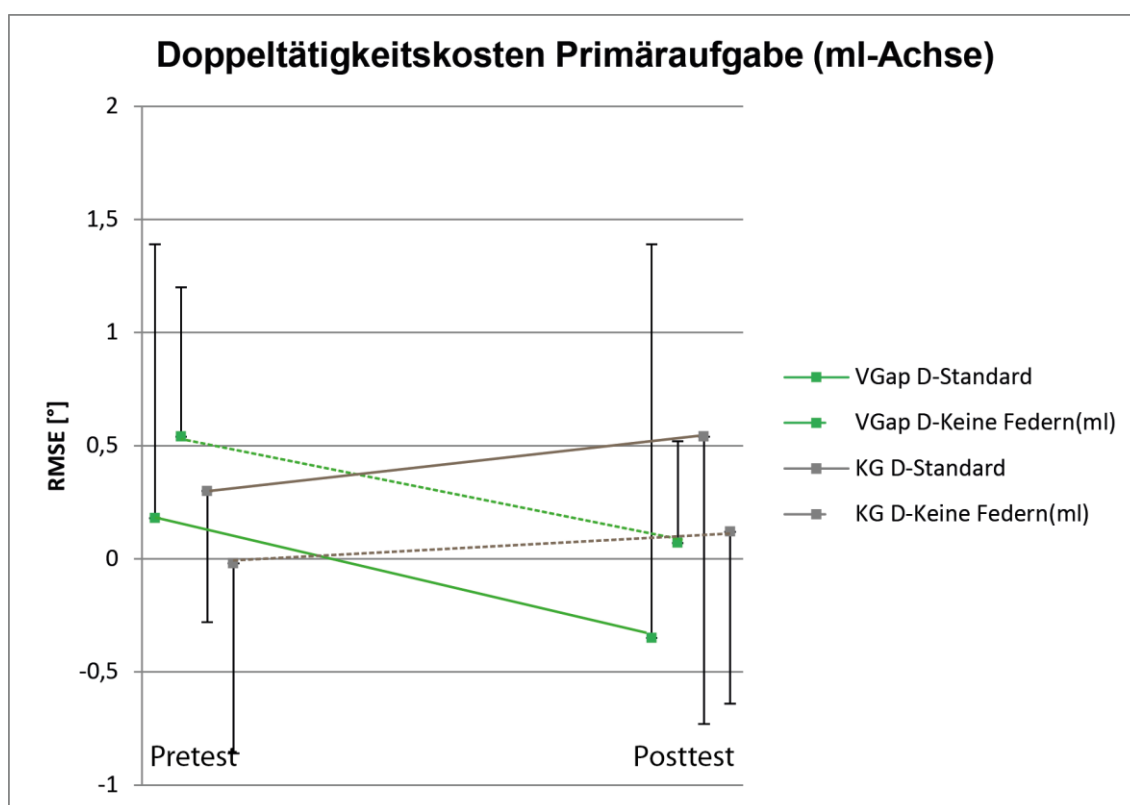


Abb. 66 Mittelwerte und Standardabweichungen der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Primäraufgabe (RMSE in der ml-Achse) bei Pretest und Posttest der Aufgaben D -Standard und D -Keine Federn (ml) in der VG_{ap} und der KG .

OH6c: In VG_{ap} verändert sich der Unterschied der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Sekundäraufgabe (Zählschritte) zwischen der Aufgabe *D-Standard* und der Aufgabe *D-Keine Federn (ml)* vom Pre- zum Posttest stärker als in der KG.

Für die Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Sekundäraufgabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten* wird die Interaktion MZP (Pretest, Posttest) x Aufgabe (*D-Standard*, *D-Keine Federn (ml)*) x VG (VG_{ap} , KG) nicht signifikant, $F(1, 22) = 0.35$; $p_{adj} = .837$; $\eta^2_p = .02$ (Abb. 67). In der VG_{ap} verändern sich die Doppeltätigkeitskosten der beiden Aufgaben nicht signifikant unterschiedlich, MZP x Aufgabe, $F(1, 11) = 1.33$; $p_{adj} = .274$; $\eta^2_p = .11$. Der Vergleich zwischen Pretest und Posttest verfehlt in der Aufgabe *D-Standard* nur knapp die Signifikanzgrenze, $t(11) = 1.80$, $p_{adj} = .099$, bei der Aufgabe *D-Keine Federn (ml)* ist ebenfalls kein Unterschied zwischen Pre- und Posttest nachzuweisen, $t(11) = 0.65$, $p_{adj} > .999$. Die Doppeltätigkeitskosten zwischen den beiden Aufgaben unterscheiden beim Pretest nicht, $t(11) = -0.67$, $p_{adj} = .514$, beim Posttest hingegen sind die Doppeltätigkeitskosten bei der Aufgabe *D-Keine Federn (ml)* signifikant größer als bei der Aufgabe *D-Standard*, $t(11) = -2.59$, $p_{adj} = .025$. In der KG gibt es ebenfalls keine signifikante Interaktion MZP x Aufgabe, $F(1, 11) = 0.16$; $p_{adj} > .999$; $\eta^2_p = .01$. Es ist weder für eine der Aufgaben eine Veränderung vom Pretest zum Posttest festzustellen, *D-Standard*, $t(11) = 0.39$, $p_{adj} > .999$, *D-Keine Federn (ml)*, $t(11) < 0.01$, $p_{adj} > .999$, noch unterscheiden sich die Doppeltätigkeitskosten zu einem der beiden MZPs, Pretest, $t(11) = 0.24$, $p_{adj} = .812$, Posttest, $t(11) = -0.24$, $p_{adj} = .815$. Trotz der unterschiedlichen Doppeltätigkeitskosten während des Posttests in der VG_{ap} muss OH6c verworfen werden.

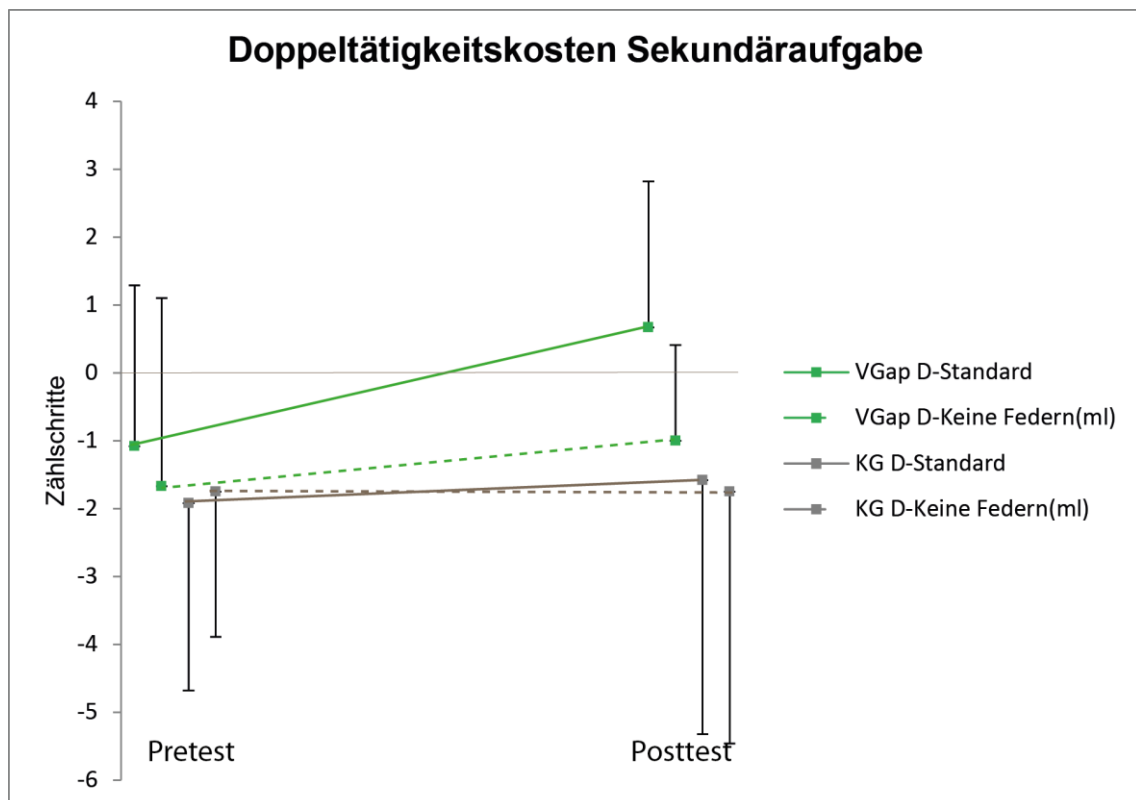


Abb. 67 Mittelwerte und Standardabweichungen der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Sekundäraufgabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten* bei Pretest und Posttest der Aufgaben *D-Standard* und *D-Keine Federn (ml)* in der VG_{ap} und der KG.

OH7a: In VG_{ml} verändert sich der Unterschied der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Primäraufgabe (RMSE (ap)) zwischen der Aufgabe *D-Starke Federn (ap)* und der Aufgabe *D-Standard* vom Pre- zum Posttest stärker als in der KG.

Für die RMSEs in der ap-Achse wird die Interaktion MZP (Pretest, Posttest) x Aufgabe (*D-Standard*, *D-Starke Federn (ap)*) x VG (VG_{ml}, KG) nicht signifikant, $F(1, 22) = 0.96$; $p_{adj} = .507$; $\eta^2_p = .04$ (Abb. 68). In der VG_{ml} verändern sich die Doppeltätigkeitskosten der beiden Aufgaben nicht unterschiedlich, MZP x Aufgabe, $F(1, 11) = 0.08$; $p_{adj} = .788$; $\eta^2_p = .01$, da sich die Doppeltätigkeitskosten in keiner der beiden Aufgaben verändern, *D-Standard*, $t(11) = -0.80$, $p_{adj} = .884$, *D-Starke Federn (ap)*, $t(11) = -1.07$, $p_{adj} = .306$. Die Doppeltätigkeitskosten zwischen den beiden Aufgaben unterscheiden sich weder beim Pretest, $t(11) = 1.09$, $p_{adj} = .298$, noch beim Posttest, $t(11) = 1.36$, $p_{adj} = .200$. In der KG

gibt es ebenfalls keine signifikante Interaktion MZP x Aufgabe, allerdings wird das Signifikanzniveau nur relativ knapp verfehlt, $F(1, 11) = 4.94$; $p_{adj} = .096$; $\eta^2_p = .31$. In der Aufgabe *D-Standard* gibt es eine tendenzielle Steigerung der Doppeltätigkeitskosten, $t(11) = 2.31$, $p_{adj} = .084$, die Doppeltätigkeitskosten in der Aufgabe *D-Starke Federn (ap)* bleiben unverändert, $t(11) = -0.36$, $p_{adj} > .999$. Beim Pretest unterscheiden sich die Doppeltätigkeitskosten nicht zwischen den beiden Aufgaben, $t(11) = 0.78$, $p_{adj} = .451$. Beim Posttest zeigen sich geringere Doppeltätigkeitskosten bei der Aufgabe *D-Starke Federn (ap)*, $t(11) = 3.23$, $p_{adj} = .008$. OH7a wird abgelehnt.

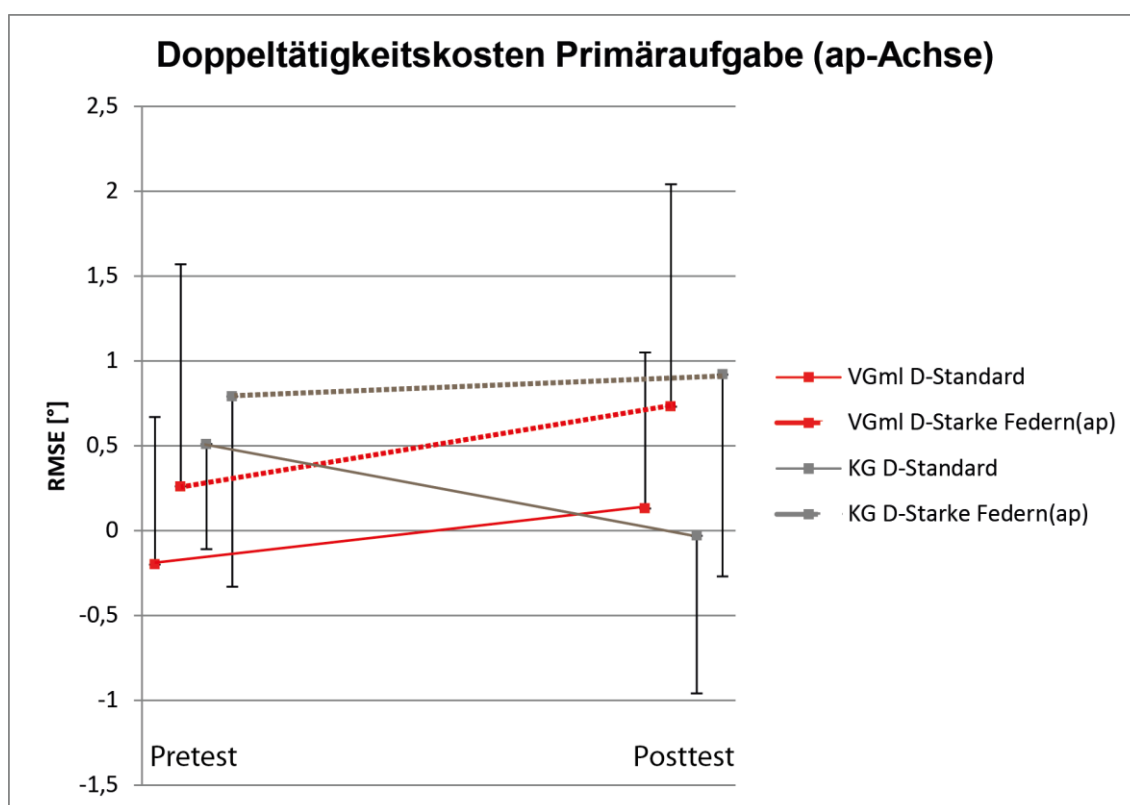


Abb. 68 Mittelwerte und Standardabweichungen der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Primäraufgabe (RMSE in der ap-Achse) bei Pretest und Posttest der Aufgaben *D-Standard* und *D-Starke Federn (ap)* in der VG_{ml} und der KG.

OH7b: In VG_{ml} verändert sich der Unterschied der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Primäraufgabe (RMSE (ml)) zwischen der Aufgabe *D-Starke Federn (ap)* und der Aufgabe *D-Standard* vom Pre- zum Posttest stärker als in der KG.

Für die RMSEs in der ml-Achse wird die Interaktion MZP (Pretest, Posttest) x Aufgabe (*D-Standard*, *D-Starke Federn (ap)*) x VG (VG_{ml} , KG) nicht signifikant, $F(1, 22) = 0.13$; $p_{adj} > .999$; $\eta^2_p = .01$ (Abb. 69). Das ist dadurch zu erklären, dass sich die Doppeltätigkeitskosten in keiner der Gruppen unterschiedlich verändern, VG_{ml} , MZP x Aufgabe, $F(1, 11) = 0.02$; $p_{adj} = .882$; $\eta^2_p < .01$, KG, MZP x Aufgabe, $F(1, 11) = 0.38$; $p_{adj} > .999$; $\eta^2_p = .03$. In keiner der beiden Gruppen verändern sich die Doppeltätigkeitskosten in einer der beiden Aufgaben, VG_{ml} , *D-Standard*, $t(11) = -0.36$, $p_{adj} > .999$, VG_{ml} , *D-Starke Federn (ap)*, $t(11) = -0.40$, $p_{adj} = .695$, KG, *D-Standard*, $t(11) = -0.71$, $p_{adj} = .986$, KG, *D-Starke Federn (ap)*, $t(11) = 0.19$, $p_{adj} > .999$. Bei keiner der beiden Gruppen unterscheiden sich die Doppeltätigkeitskosten zwischen den Aufgaben zu einem der beiden MZPs, VG_{ml} , Pretest, $t(11) = -0.01$, $p_{adj} = .992$, VG_{ml} , Posttest, $t(11) = -0.24$, $p_{adj} = .813$, KG, Pretest, $t(11) = 0.69$, $p_{adj} = .504$, KG, Posttest, $t(11) = -0.34$, $p_{adj} = .737$. OH7b wird abgelehnt.

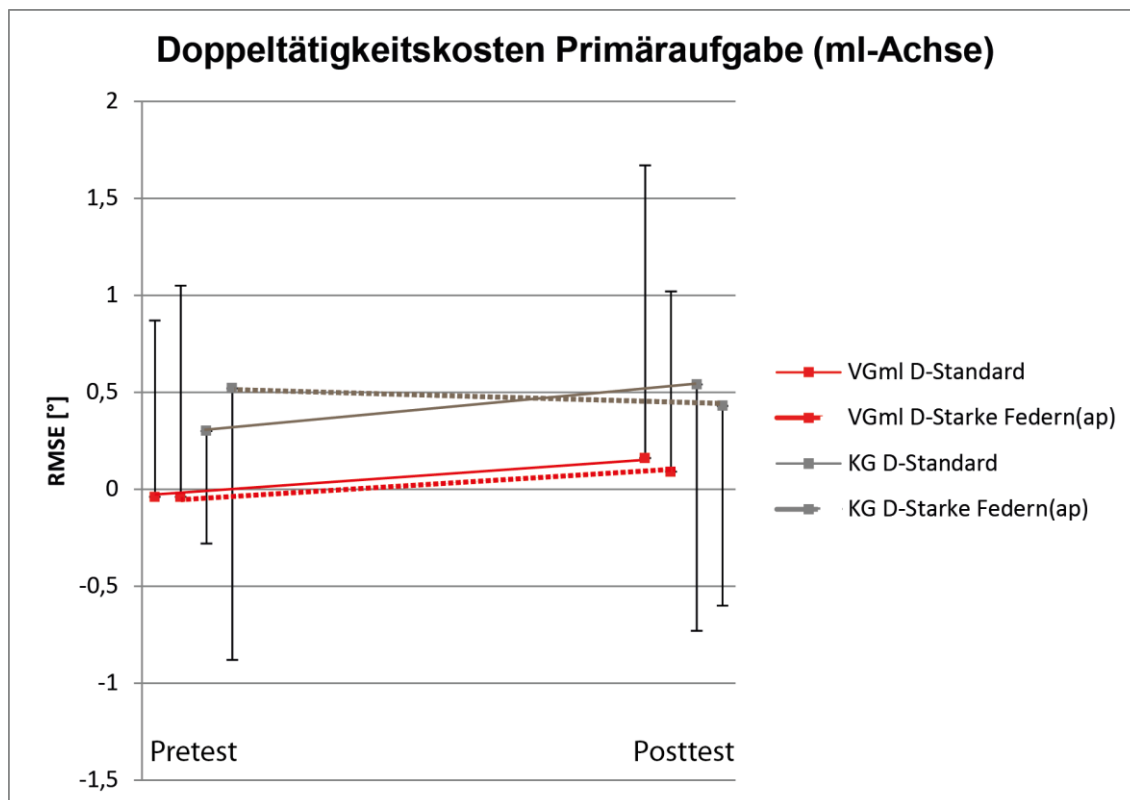


Abb. 69 Mittelwerte und Standardabweichungen der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Primäraufgabe (RMSE in der ml-Achse) bei Pretest und Posttest der Aufgaben *D-Standard* und *D-Starke Federn (ap)* in der VG_{ml} und der KG.

OH7c: In VG_{ml} verändert sich der Unterschied der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Sekundäraufgabe (Zählschritte) zwischen der Aufgabe *D-Starke Federn (ap)* und der Aufgabe *D-Standard* vom Pre- zum Posttest stärker als in der KG.

Für die Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Sekundäraufgabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten* wird die Interaktion MZP (Pretest, Posttest) x Aufgabe (*D-Standard*, *D-Starke Federn (ap)*) x VG (VG_{ml}, KG) nicht signifikant, $F(1, 22) = 0.19$; $p_{adj} > .999$; $\eta^2_p = .01$ (Abb. 70). In der VG_{ml} verändern sich die Doppeltätigkeitskosten der beiden Aufgaben nicht signifikant unterschiedlich, MZP x Aufgabe, $F(1, 11) = 0.42$; $p_{adj} = .529$; $\eta^2_p = .04$, obwohl sich die Doppeltätigkeitskosten in der Aufgabe *D-Starke Federn (ap)* signifikant reduzieren, $t(11) = 2.88$, $p_{adj} = .015$, und bei der Aufgabe *D-Standard* unverändert bleiben, $t(11) = 0.89$, $p_{adj} = .786$. Die Doppeltätigkeitskosten zwischen den beiden Aufgaben unter-

scheiden beim Pretest nicht, $t(11) = -0.40$, $p_{adj} = .700$, beim Posttest wird das Signifikanzniveau ebenfalls verfehlt, Post-Unterschied: $t(11) = -1.53$, $p_{adj} = .154$. Trotz der Reduktion der Doppeltätigkeitskosten bei der Aufgabe *D-Starke Federn (ap)* in der VG_{ml} muss OH6c verworfen werden.

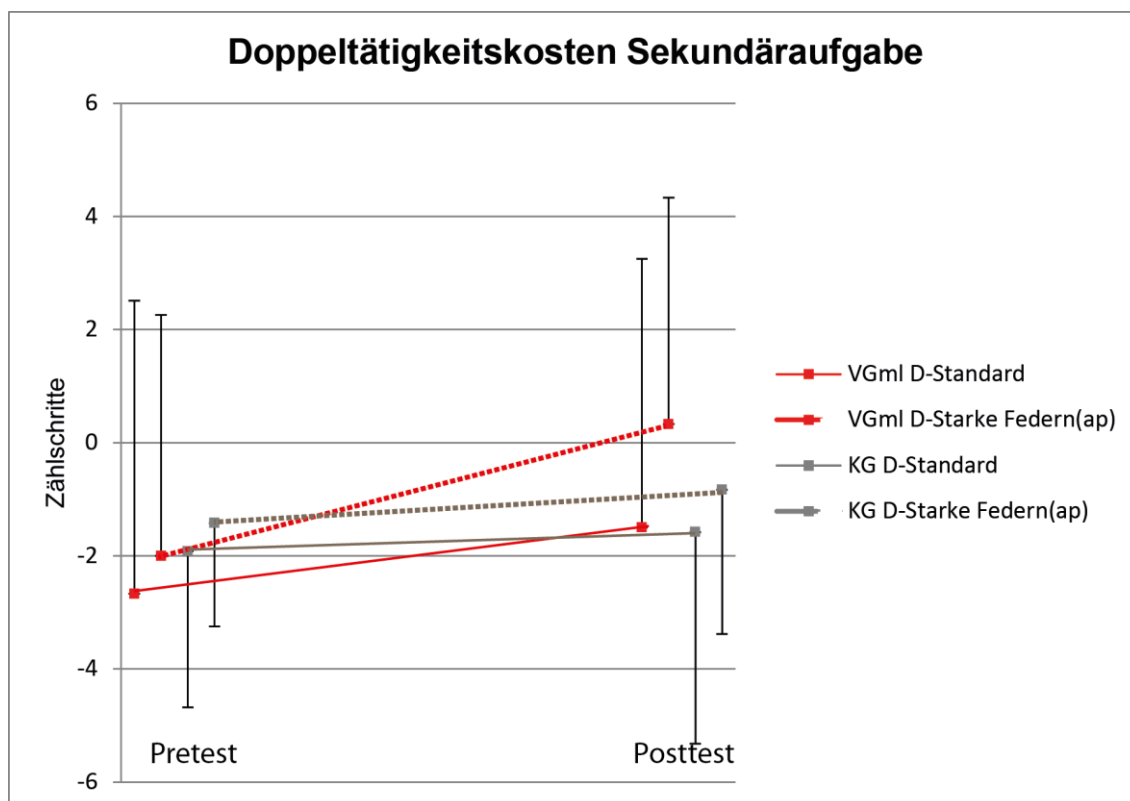


Abb. 70 Mittelwerte und Standardabweichungen der Doppeltätigkeitskosten auf Seiten der Sekundäraufgabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten* bei Pretest und Posttest der Aufgaben *D-Standard* und *D-Starke Federn (ap)* in der VG_{ml} und der KG.

4.7 Diskussion der Ergebnisse von Experiment 2

Die Prüfungen der operationalisierten Forschungshypothesen werden in den folgenden Kapiteln jeweils zusammengefasst diskutiert. Aufgrund der Ergebnisse von Experiment 1 wurde vermutet, dass auch in diesem Experiment die RMSEs in der Achse, die während der Übungsphase arretiert war, sich nicht reduzieren lassen (OH1). Außerdem sollte überprüft werden, ob sich in diesem Experiment die widersprüchlichen Ergebnisse bei den Aufgaben mit einer zusätzlich freigegebenen Achse erneut zeigen (OH2, OH3). Diese Ergebnisse

wurden in Experiment 1 damit erklärt, dass in der VG_{ml} die großen Fehlerrückmeldungen in der zusätzlich freigegebenen ap-Achse zu einer bewegungsbezogenen Aufmerksamkeit geführt haben, die dann wiederum die Leistung negativ beeinflusst hat. Falls diese Erklärung richtig war, sollte die VG_{ml} den RMSE in der ml-Achse reduzieren können, wenn durch eine stärkere Federunterstützung in der ap-Achse große Fehlerrückmeldungen verhindert werden (OH4). Dagegen sollte eine Leistungsverbesserung in VG_{ap} ausbleiben, wenn aufgrund der entfernten Federn in der ml-Achse die Abweichungen in dieser Achse größer werden (OH5). Darüber hinaus sollte die bewegungsbezogene Aufmerksamkeit bei den Aufgaben mit größeren Fehlern in der zusätzlich freigegebenen Achse dazu führen, dass sich die Doppeltätigkeitskosten nicht reduzieren, während sie bei den Aufgaben mit geringeren Abweichungen in der zusätzlichen Achse abnehmen sollten (OH6, OH7).

4.7.1 *Ergebnisse unter Einzeltätigkeit*

4.7.1.1 Abweichungen in der Achse, die während der Übungsphase arretiert war

Es wurde erwartet, dass sich die RMSEs in der Achse, die nicht während der Übungsphase freigegeben war, nicht stärker reduzieren als in der KG (OH1a, OH1b). Diese Hypothesen konnten bestätigt werden. Darüber hinaus soll im Nachhinein überprüft werden, ob dieses auch für die Aufgaben mit veränderter Federkonstante zutrifft. Dabei zeigt sich, dass VG_{ap} und VG_{ml} den RMSE in der jeweils während der Übung arretierten Achse nicht stärker reduzieren können als die KG, VG_{ap} , *S-Starke Federn (ap)*, $F(1, 22) = 0.39$, $p = .846$, $\eta^2_p < .01$, VG_{ap} , *S-Keine Federn (ml)*, $F(1, 22) = 0.01$, $p = .939$, $\eta^2_p < .01$, VG_{ml} , *S-Starke Federn (ap)*, $F(1, 22) = 1.18$, $p = .290$, $\eta^2_p = .05$. Bei der Aufgabe *S-Keine Federn (ml)* erhöht die VG_{ml} die Abweichungen in der ap-Achse sogar signifikant im Vergleich zur KG, $F(1, 22) = 15.11$, $p = .001$, $\eta^2_p = .41$. Insgesamt liefern die Ergebnisse dieses Experiments weitere Hinweise darauf, dass die Art und Bedeutung der beteiligten posturalen Synergien den Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben beeinflussen.

4.7.1.2 Abweichungen in der Achse, die während der Übungsphase freigegeben war

Es wurde erwartet, dass die Entwicklung der RMSEs in der Achse, die während der Übungsphase freigegeben war, davon abhängig ist, wie groß die Fehler in der jeweils anderen Achse sind. Das konnte für die *Aufgabe S-Standard* bestätigt werden. Während die VG_{ap} die RMSEs in der ap-Achse stärker reduzierte (OH2), konnte die VG_{ml} dieses nicht erreichen (OH3). Allerdings muss berücksichtigt werden, dass dieses Ergebnis durch die tendenziellen Leistungsverbesserungen in der KG zustande gekommen sein könnte. Schließlich gab es in der VG_{ml} eine signifikante Leistungssteigerung. Um zu überprüfen, ob tatsächlich die größeren Abweichungen für diese gegensätzlichen Befunde verantwortlich sind, wurde bei den Aufgaben *S-Starke Federn (ap)* und *S-Keine Federn (ml)* die Federunterstützung gegenüber der Aufgabe *S-Standard* verändert. Dabei zeigt sich, dass bei stärkerer Federunterstützung in der ap-Achse auch die VG_{ml} den RMSE in der ml-Achse stärker reduzieren kann als die KG (OH4) und die VG_{ap} ohne Federunterstützung die Abweichungen in der ap-Achse nicht stärker reduzieren kann als die KG (OH5). Das weist darauf hin, dass das Ausbleiben von Leistungsverbesserungen in der Achse, die während des Übens freigegeben war, nicht richtungsabhängig ist, sondern durch die Größe der Abweichungen in der jeweils anderen Achse beeinflusst wird.

4.7.2 Doppeltätigkeitskosten

Es wurde vermutet, dass sich der Unterschied der Doppeltätigkeitskosten zwischen den Aufgaben mit stärkerer Federunterstützung und den Aufgaben mit schwächerer Federunterstützung in der jeweils zusätzlich freigegebenen Achse in den VGn stärker verändert als in der KG (OH6, OH7). Diese Hypothesen mussten allerdings abgelehnt werden. Auf Seiten der Primäraufgabe ließen sich keine Hinweise für eine unterschiedliche Entwicklung der Doppeltätigkeitskosten finden. Auf Seiten der Sekundäraufgabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten* weisen die post-hoc-Berechnungen darauf hin, dass möglicherweise ein endgültiges Verwerfen der Hypothese verfrüht wäre. In der VG_{ap} unterscheiden sich

beim Pretest die Doppeltätsigkeitskosten zwischen den Aufgaben *D-Keine Federn (ml)* und *D-Standard* nicht. Beim Posttest sind die Doppeltätsigkeitskosten bei der Aufgabe *D-Keine Federn (ml)* signifikant größer als bei der Aufgabe *D-Standard*. In der VG_{ml} reduzieren sich die Doppeltätsigkeitskosten bei der Aufgabe *D-Starke Federn (ap)* signifikant, während sie bei der Aufgabe *D-Standard* unverändert bleiben. Genau solche Unterschiede sind erwartet worden. Möglicherweise ist die Sekundäraufgabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten* (mit einer instruierten Priorität auf der Sekundäraufgabe und der abhängigen Variable *Anzahl der richtigen Zählsschritte*) nicht das von Abernethy (2001) geforderte Messinstrument, das sehr empfindlich für Veränderungen der Aufmerksamkeitsanforderungen ist. Bei der Auswahl der Sekundäraufgabe wurde Wert darauf gelegt, dass die Sekundäraufgabe keine strukturelle Interferenz mit der Primäraufgabe aufweist (Kap. 4.3.5). Dabei könnte der Reliabilität der Messung zu geringe Beachtung geschenkt worden sein. Alternativ könnte die instruierte Priorisierung der Sekundäraufgabe dazu geführt haben, dass eine Orientierung der Aufmerksamkeit auf den Bewegungsprozess verhindert worden ist.

5 Zusammenfassung, Ausblick und Grenzen

Zur Gestaltung von Gleichgewichtsaufgaben im Rahmen eines sportlichen Trainings gibt es unterschiedliche Auffassungen. Insbesondere in der Frage, worin sich die Trainingsaufgaben von denen des sportlichen Wettkampfs unterscheiden dürfen, herrscht Uneinigkeit. Ziel dieser Arbeit war es diese Frage im Sinne der problemorientierten Grundlagenforschung (Olivier, 1996) zu bearbeiten. Dazu wurde das sportpraktische Problem theoretisch eingeordnet und in zwei Experimenten grundlagenorientiert untersucht. In diesem Kapitel werden die theoretische Einordnung und die experimentellen Befunde zusammengefasst, bevor abschließend versucht wird, diese wieder auf sportpraktische Fragestellungen zu übertragen.

Die Frage nach geeigneten Gleichgewichtsaufgaben für das sportliche Training wird in dieser Arbeit als Transferproblem verstanden. Das bedeutet, dass der Frage nachgegangen wird unter welchen Bedingungen davon auszugehen ist,

dass das Üben einer Gleichgewichtsaufgabe sich positiv auf die Leistung beim Bewältigen einer anderen Gleichgewichtsaufgabe auswirkt. In der theoretischen Aufarbeitung dieser Frage sind zunächst zwei mögliche Bedingungen identifiziert worden, die nach dem Experiment 1 um eine dritte Bedingung erweitert wurden. Erstens könnten die Art und die Bedeutung der beteiligten posturalen Synergien der Übungs- und der Transferaufgabe das Auftreten von Transfer bedingen. Zweitens könnte Transfer von den an der Lösung der Aufgaben beteiligten sensorischen Teilsystemen abhängig sein. Drittens könnte die Aufmerksamkeitsorientierung beim Lösen der Aufgaben den Transfer beeinflussen. In den beiden Experimenten dieser Arbeit ist anhand von Aufgaben auf Stabilometern überprüft worden, ob diese angenommenen Bedingungen tatsächlich als Voraussetzungen für das Auftreten von Transfer anzusehen sind. Auch nach Auswertung dieser Experimente ist der Forschungsstand zu den einzelnen Bedingungen von Transfer beim Lernen von Gleichgewichtsaufgaben als unterschiedlich weit fortgeschritten einzuschätzen.

In den Experimenten dieser Arbeit ist versucht worden, die Art und Bedeutung der beteiligten posturalen Synergien auf zwei verschiedene Weisen zu variieren, einerseits durch die Ausrichtung der freigegebenen Achse des Stabilometers, andererseits durch einen unterschiedlichen Abstand zwischen der Standfläche und der Rotationsachse des Stabilometers. Bezüglich der Ausrichtung der Achsen sprechen die experimentellen Befunde deutlich dafür, dass eine wichtige Bedingung für Transfer darin besteht, dass an der Bewältigung der Übungs- und der Transferaufgabe die gleichen posturalen Synergien beteiligt sein müssen. Es konnten fast in allen Transferaufgaben die Abweichungen in der Achse reduziert werden, die auch bei der Übungsaufgabe freigegeben war. Dagegen konnten die Abweichungen in der jeweils anderen Achse nicht reduziert werden. Die Ausnahmen, bei denen keine Verbesserung festgestellt werden konnte, werden durch die Nichterfüllung einer der anderen Bedingungen erklärt. Für den Transfer auf Aufgaben mit einem veränderten Abstand zwischen der Rotationsachse des Stabilometers und der Standfläche sind die Ergebnisse weniger eindeutig. Die Nichtunterschiedshypothesen konnten nicht bestätigt werden. Es wird vermutet, dass die Veränderung des Abstands der

Drehachse nicht dazu geführt hat, dass andere posturale Synergien eingesetzt wurden. Dieses müsste allerdings noch anhand von EMG-Daten und kinematischen Analysen der Aufgaben auf Stabilometer I und Stabilometer II bestätigt werden.

Die Art und Bedeutung der beteiligten sensorischen Teilsysteme wurde durch das Tragen einer verdunkelten Brille bei zwei Aufgaben in Experiment 1 variiert. Insgesamt kann bestätigt werden, dass sich das Üben von Gleichgewichtsaufgaben auf einem Stabilometer mit uneingeschränkter visueller Kontrolle nicht positiv auf die Leistungen bei Aufgaben auf dem Stabilometer auswirkt, bei denen die verdunkelte Brille getragen werden musste. Für das Üben mit verdunkelter Brille konnte gezeigt werden, dass es keinen positiven Einfluss auf die Abweichungen in der anterior-posterior Achse hatte. In der medial-lateral-Achse konnte dieses allerdings nicht nachgewiesen werden. Gemeinsam mit dem Ausbleiben von aufgabenspezifischen Verbesserungen in der ap-Achse deutet dieser Befund an, dass die Bedeutung visueller Information richtungsabhängig verschieden sein könnte. Diese Annahme soll in einem zukünftigen Experiment überprüft werden. Falls sie bestätigt wird, spricht sehr viel dafür, dass auch die Art und Bedeutung der an der Bewältigung der Gleichgewichtsaufgaben beteiligten sensorischen Teilsysteme das Auftreten von Transfer bedingen.

Einige nicht erwartete Befunde aus Experiment 1 wären durch eine weitere mögliche Bedingung von Transfer zu erklären. Es wurde vermutet, dass große Fehlerrückmeldungen in der während der Übungsphase freigegebenen Achse zu einer Aufmerksamkeitsorientierung auf Details der Bewegungsausführung geführt haben könnten. Diese könnte sich wiederum negativ auf die Abweichungen in der jeweils anderen Achse ausgewirkt haben. Demnach könnte eine weitere Bedingung für Transfer sein, dass es während des Transfertests nicht zu einer bewegungsbezogenen Aufmerksamkeit kommt. In Experiment 2 konnte gezeigt werden, dass große Fehler in der zusätzlich freigeschalteten Achse tatsächlich dazu führen, dass kein Transfer auftritt. Allerdings konnte anhand der Doppeltätigkeitstests nicht bestätigt werden, dass dieses durch eine bewegungsbezogene Aufmerksamkeitsorientierung bedingt ist. Es ließen sich lediglich schwache Hinweise dafür finden. Es wird vermutet, dass die Sekundärauf-

gabe *Rückwärtszählen in 3er-Schritten* mit einer instruierten Priorisierung der Sekundäraufgabe Veränderungen in der Aufmerksamkeitszuwendung nicht genau genug abbilden kann. Alternativ ist aber auch nicht auszuschließen, dass die Fehler in der zusätzlichen Achse gar keinen Einfluss auf die Aufmerksamkeitsorientierung hatten. Sie könnten beispielsweise auch zum Einsatz anderer posturaler Synergien geführt haben. Die Frage, ob die Aufmerksamkeitsorientierung eine dritte Bedingung für Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben darstellt, kann an dieser Stelle also noch nicht endgültig beantwortet werden. Bei der weiteren experimentellen Auseinandersetzung mit dieser Frage wird die Wahl einer geeigneten Sekundäraufgabe eines der wichtigsten zu lösenden methodischen Probleme darstellen. Möglicherweise könnten diskrete Reaktionsaufgaben Hinweise auf eine fehlerbedingte Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf den Bewegungsprozess liefern.

Ziel der gewählten Forschungsstrategie ist es, die Erkenntnisse der Grundlagen-Experimente wiederum auf trainingspraktische Anwendungsfragen zu übertragen. Aus dieser Arbeit ist die Empfehlung abzuleiten, im sportlichen Training Gleichgewichtsaufgaben üben zu lassen, die sich nicht in der Art und Bedeutung der beteiligten posturalen Synergien oder der Art und Bedeutung der beteiligten sensorischen Teilsysteme von den Aufgaben des sportlichen Wettkampfs unterscheiden. Sonst wäre kein Transfer auf die Wettkampfaufgabe zu erwarten. Die Umsetzung dieser Empfehlung bringt allerdings einen großen Analyseaufwand mit sich. Sowohl die Aufgaben, die im sportlichen Wettkampf bewältigt werden, als auch mögliche Trainingsaufgaben müssen hinsichtlich der beteiligten posturalen Synergien und der beteiligten sensorischen Teilsysteme untersucht werden. Erst danach ist eine Entscheidung über die Eignung bestimmter Gleichgewichtsaufgaben für den Einsatz im sportlichen Training möglich. Es könnte sich beispielsweise ein Ruder-Trainer überlegen, welche Gleichgewichtsaufgaben er in das Wintertraining integrieren kann, damit seine Athleten im Frühjahr nicht aufgrund einer ungünstigen Wasserlage des Boots schlechtere Leistungen erbringen. Zunächst müsste er analysieren, wie das Gleichgewicht beim Rudern reguliert wird. Dazu wären elektromyographische Aufzeichnungen der beteiligten Muskeln und Videoanalysen von Wettkampf- und Trai-

ningsfahrten sinnvoll. Anschließend würde er feststellen, dass sich sämtliche Gleichgewichtsaufgaben, bei denen das Gleichgewicht auf einem instabilen Untergrund im aufrechten Stand gehalten werden muss, dadurch auszeichnen, dass andere posturale Synergien als beim Rudern beteiligt sind. Auch das Rudern in einem Trainingsbecken, in dem die Ruderblätter durch das Wasser gezogen werden, Stembretter und Rollbahnen aber fest installiert sind, scheint nicht geeignet zu sein die ruderspezifische Gleichgewichtsregulation zu verbessern. In einem Trainingsbecken, in das ein komplettes Boot gesetzt werden kann, könnten Aufgaben gestellt werden, bei denen das Boot insbesondere in seitlicher Richtung stabil gehalten werden muss. Für diese Aufgaben könnte ein positiver Transfer erwartet werden.

Ob diese Generalisierung der bei Stabilometeraufgaben überprüften Hypothesen auf andere Gleichgewichtsaufgaben gerechtfertigt ist, sollte in einigen wenigen feldnahen Replikationsstudien abgesichert werden. Dadurch erhöht sich der experimentelle Aufwand nicht im gleichen Maße, wie eine transferexperimentelle Untersuchung jeder einzelnen trainingspraktischen Frage. Es könnte trotzdem abgesichert werden, dass nicht fälschlicherweise zu weit generalisiert wird.

Neben der Generalisierung auf andere Aufgaben ist es angebracht, Überlegungen zur Generalität der Befunde hinsichtlich der untersuchten Population anzustellen. Henrich, Heine und Norenzayan (2010) kritisierten, dass in WEIRD (*Western, Educated, Industrialized, Rich, Democratic*) Populationen gewonnene Erkenntnisse häufig ungeprüft auf andere Populationen generalisiert werden. In ihrem Review zeigten sie, dass dieses in vielen Fällen nicht zulässig ist. In den vorliegenden Experimenten ist sogar lediglich ein sehr weit eingeschränkter Teil der WEIRD Population untersucht worden. Die VPn dieser Experimente könnten als WEIRD YAHAs (*Young, Active, Healthy, Adult*) bezeichnet werden. Ob in anderen Populationen die gleichen Bedingungen für Transfer bei Gleichgewichtsaufgaben nachzuweisen wären, kann anhand der Experimente dieser Arbeit nicht beantwortet werden. Die angenommenen Bedingungen von Transfer bieten sich aber als Hypothesen für Replikationen mit Sportlern in der orthopädischen Rehabilitation, Kindern und Senioren an. Dadurch könnten Empfeh-

lungen für viele weitere bedeutsame Anwendungsfelder ausgesprochen werden. Beispielsweise wären auch für das Sturzpräventionstraining Hinweise auf eine Auswahl geeigneter Übungsaufgaben hilfreich. Erste Ansätze für ein Sturzpräventionstraining, in dem versucht wird sich an typischen Sturzsituationen zu orientieren, sind bereits veröffentlicht worden (Mansfield, Peters, Liu & Maki, 2010). Horak und King (2010, S. 492) plädierten in ihrem Kommentar zu diesem Experiment für ein spezifisch ausgerichtetes Gleichgewichtstraining: „However, physical therapists need to identify specific impairments of balance control before designing specific treatments for balance deficits rather than identifying a general ‘balance problem’ and using general exercises for ‘balance’.” Außerdem verwiesen sie darauf, dass weitere Experimente benötigt werden, um diejenigen Trainingsprotokolle zu identifizieren, die einen Transfer (*carryover of training to daily life*) erwarten lassen. Aus der vorliegenden Arbeit wäre abzuleiten, dass auch bei der Suche nach Gleichgewichtsaufgaben für das Sturzpräventionstraining die beteiligten posturalen Synergien und die beteiligten sensorischen Teilsysteme berücksichtigt werden sollten.

Bei Aufgaben zu denen keine begründeten Annahmen über die Art und Bedeutung der beteiligten posturalen Synergien sowie über die Art und Bedeutung der beteiligten sensorischen Teilsysteme vorliegen, sollten Trainerinnen, Sportlehrerinnen, Therapeutinnen, Trainer, Sportlehrer und Therapeuten folgendes Zitat von Detterman (1993, S. 21) berücksichtigen: „The lesson learned from studies of transfer is that, if you want people to learn something, teach it to them. Don’t teach them something else and expect them to figure out what you really want them to do.”

Literaturverzeichnis

- Abernethy, B. (2001). Attention. In R. N. Singer, H. A. Hausenblas & C. M. Janelle (eds). *Handbook of Sport Psychology* (S. 53 - 85). New York: Wiley.
- Adams, A.J. (1971). A Closed-loop Theory of Motor Learning. *Journal of Motor Behavior*, 3, 111-150.
- Adams, J. A. (1987). Historical review and appraisal of research on the learning, retention, and transfer of human motor skills. *Psychological Bulletin*, 101, 41-74.
- Alexandrov, A., Frolov, A. & Massion, J. (1998). Axial synergies during human upper trunk bending. *Experimental Brain Research*, 118, 210–220.
- Amir, Y. & Sharon, I. (1991). Replication Research: A “Must” for the Scientific Advancement in Psychology. In J. W. Neuliep (ed.), *Replication Research in the Social Sciences* (S. 51-69). Newbury Park: Sage.
- Aruin, A. S. & Latash, M. L. (1995). Directional Specificity of Postural Muscles in Feed-Forward Postural Reactions During Fast Voluntary Arm Movements. *Experimental Brain Research*, 103, 323-332.
- Asaka, T., Yahata, K., Mani, H. & Wang, Y. (2011). Modulations of Muscle Modes in Automatic Postural Responses Induced by External Surface Translations. *Journal of Motor Behavior*, 43, 165-172.
- Bachleitner, R. (1985). Sozialisation oder Selektion im Sport? *Sportwissenschaft*, 15, 341-359.
- Bachman, J. C. (1961). Specificity vs. Generality in Learning and Performing two Large Muscle Motor Tasks. *Research Quarterly*, 32, 3-11.
- Baddeley, A. D. (2000) Short-term and Working Memory. In E. Tulving & F. I. M. Craik (Eds.), *The Oxford Handbook of Memory* (S. 77-92). New York: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D., Grant, S., Wight, E. & Thompson, N. (1975). Imagery and Visual Working Memory. In P. M. Rabbitt and S. Dornic (Eds.) *Attention and Performance, Vol. 5* (S. 205–217). London: Academic Press.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. In G. H. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory* (S. 47–89). New York: Academic Press.

- Balogun, J. A., Adesinasi, C. O. & Marzouk, D. K. (1992). The Effect of a Wobble Board Exercise Training Program on Static Balance Performance and Strength of Lower Extremity Muscles. *Physiotherapy Canada*, 44 (4), 23-30.
- Bass, R. I. (1939). An Analysis of the Components of Tests of Semicircular Canal Function and of Static and Dynamic Balance. *Research Quarterly*, 10, 33-52.
- Baudhuin, E. S. (1987). The Design of Industrial and Flight Simulators. In S. M. Cormier and J. D. Hagman, (Eds.), *Transfer of learning: Contemporary research and applications*, S. 217-237. San Diego, CA: Academic Press.
- Baumeister, R. F. (1984). Choking Under Pressure: Self-consciousness and Paradoxical Effects of Incentives on Skillful Performance. *Journal of Personality and Social Psychology*, 46, 610-620.
- Beilock, S. L., Bertenthal, B. I., McCoy, A. M. & Carr, T. H. (2004). Haste does Not Always Make Waste: Expertise, Direction of Attention, and Speed versus Accuracy in Performing Sensorimotor Skills. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11, 373-379.
- Beilock, S. L. & Carr, T. H. (2001). On the Fragility of Skilled Performance: What Governs Choking under Pressure? *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 701-725.
- Beilock, S. L., Carr, T. H., MacMahon, C. & Starkes, J. L. (2002). When Paying Attention Becomes Counterproductive: Impact of Divided versus Skill-focused Attention on Novice and Experienced Performance of Sensorimotor Skills. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8, 6-16.
- Belenkii, Y. Y., Gurfinkel, V. S. & Paltsev, Y. I. (1967). Element of Control of Voluntary Movements. *Biofizika*, 12, 135-141.
- Benjamini, Y. & Hochberg, Y. (1995). Controlling the False Discovery Rate: a New and Powerful Approach to Multiple Testing. *Journal of the Royal Statistical Society, B* 57, 289-300.
- Bernstein, N. (1967). *Co-ordination and Regulation of Movements*. New York: Pergamon.

- Bilodeau, E. A. & Bilodeau, I. M. (1961). Motor-Skills Learning. *Annual Review of Psychology*, 12, 243-280.
- Black, F. O. & Nashner, L. M. (1984). Vestibulospinal Control Differs in Patients Reduced Versus Distorted Vestibular Function. *Acta Otolaryngologica*, 406, 110-114.
- Black, F. O., Shupert, C., Horak, F. B. & Nashner, L. M. (1988). Abnormal Postural Control Associated with Peripheral Vestibular Disorders. In: O. Pompeiano & J. Allum (eds.), *Progress in Brain Research: Vestibulo-Spinal Control of Posture and Movement* (S. 263-275). Amsterdam: Elsevier.
- Bornemann, R., Gabler, H., Glasbrenner, G., Reetz, J., Schönborn, R., Scholl, P. & Weber, K. (1996). Koordinationstraining. In Deutscher Tennis Bund (Hrsg.), *Tennis Lehrplan Band 2. Unterricht und Training* (7. Völlig neubearb. Aufl.), S. 117-130. München: BLV.
- Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (6. vollst. überarb. und aktual. Aufl.). Heidelberg: Springer.
- Bortz, J. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7. vollst. überarb. und erw. Aufl.). Heidelberg: Springer.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler*. Heidelberg: Springer.
- Bortz, J., Lienert, G. A., Barskova, T., Leitner, K. & Oesterreich, R. (2008). *Kurzgefasste Statistik für die klinische Forschung. Leitfaden für verteilungsfreie Analyse kleiner Stichproben* (3. aktual. und erw. Aufl.). Heidelberg: Springer.
- Bouisset, S. & Do, M.-C. (2008). Posture, Dynamic Stability, and Voluntary Movement. *Clinical Neurophysiology*, 38, 345-362.
- Bouisset, S. & Zattara, M. (1981). A sequence of postural movements precedes voluntary movement. *Neuroscience Letters*, 22, 263-270.
- Bouisset, S. & Zattara, M. (1987). Biomechanical Study of the Programming of Anticipatory Postural Adjustments Associated With Postural Movements. *Journal of Biomechanics*, 20, 735-742.
- Brady, F. (2004). Contextual Interference: A Meta-Analytic Study. *Perceptual and Motor Skills*, 99, 116-126.

- Brady, F. (2008). The Contextual Interference Effect and Sport Skills. *Perceptual and Motor Skills*, 106, 461-472.
- Bransford, J. D., Franks, J. J., Morris, C. D. & Stein, B. S. (1979). Some General Constraints on Learning and Memory Research. In L. S. Cermak and F. I. M. Craik, (Eds.), *Levels of Processing in Human Memory*, S. 331-354. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Bressel, E., Yonker, J. C., Kras, J. & Heath, E. M. (2007). Comparison of Static and Dynamic Balance in Female Collegiate Soccer, Basketball, and Gymnastics Athletes. *Journal of Athletic Training*, 42, 42-46.
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and Communication*. London: Pergamon Press.
- Brown, L. A., Shumway-Cook, A. & Woollacott, M. H. (1999). Attentional Demands of Postural Recovery: The Effects of Aging. *Journals of Gerontology. Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 54, M165-M171.
- Budinger, H. & Koch, H. (1999). *Lehrbrief 7. Kinder- und Jugendtraining* (2. erg. Aufl.). Gräfeling: Albrecht.
- Broadhurst, P. L. (1957). Emotionality and the Yerkes-Dodson Law. *Journal of Experimental Psychology*, 54, 345-352.
- Chapman, A. E. (2008). *Biomechanical Analysis of Fundamental Human Movements*. Champaign: Human Kinetics.
- Cherry, E. C. (1953). Some Experiments on the Recognition of Speech, with One and with Two Ears. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 25, 975-979.
- Clément, G. & Rézette, D. (1985). Motor behavior underlying the control of an upside-down vertical posture. *Experimental Brain Research*, 59, 478-84.
- Cook, T. W. (1944). Repetition and Learning. I. Stimulus and Response. *Psychological Review*, 51, 25-36.
- Cordo, P. J. & Nashner, L. M. (1982). Properties of Postural Adjustments Associated with Rapid Arm Movements. *Journal of Neurophysiology*, 47, 287-302.

- Cormier, S. M. & Hagman, J. D. (1987). Introduction. In S. M. Cormier and J. D. Hagman, (Eds.), *Transfer of learning: Contemporary research and applications*, S. 1-8. San Diego, CA: Academic Press.
- Cox, E. D., Lephart, S. M. & Irrgang, J. J. (1993). Unilateral Balance Training of Noninjured Individuals and the Effects on Postural Sway. *Journal of Sport Rehabilitation*, 2, 87-96.
- Crenna, P., Frigo, C., Massion, J. & Pedotti, A. (1987). Forward and backward axial synergies in man. *Experimental Brain Research*, 65, 538–548.
- Cumbee, F. Z. (1970). A Factorial Analysis of Motor Coordination. In W. P. Morgan (Ed.), *Contemporary Readings in Sport Psychology* (S. 187-205). Springfield: Thomas.
- Debu, B. & Woollacott, M. H. (1988). Effects of Gymnastics Training on Postural Responses to Stance Perturbations. *Journal of Motor Behavior*, 20, 273-300.
- Deese, J & Hulse, S. H. (1967). *The Psychology of Learning* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.
- Detterman, D. K. (1993). The Case of Prosecution: Transfer as an Epiphenomenon. In D. K. Detterman and R. J. Sternberg (Eds.), *Transfer on Trial: Intelligence, Cognition, and Instruction*, S. 1-24. Norwood: Ablex.
- Diener, H. C., Bootz, F., Dichgans, J. & Bruzek, W. (1983). Variability of Postural „Reflexes“ in Humans. *Experimental Brain Research*, 52, 423-428.
- Diener, H. C., Dichgans, J., Bootz, F. & Bacher, M. (1984). Early Stabilization of Human Posture After a Sudden Disturbance: Influence of Rate and Amplitude of Displacement. *Experimental Brain Research*, 56, 126-134.
- Diener, H. C., Dichgans, J., Guschlbauer, B., Bacher, M., Rapp, H. & Langenbach, P. (1990). Associated Postural Adjustments with Body Movement in Normal Subjects and Patients with Parkinsonism and Cerebellar Disease. *Revue Neurologique*, 146, 555-563.
- Diener, H. C., Horak, F. B. & Nashner, L. M. (1988). Influence of Stimulus Parameters on Human Postural Responses. *Journal of Neurophysiology*, 59, 1888-1905.

- Dietz, V. (1992). Human Neural Control of Automatic Functional Movements: Interaction Between Central Programs and Afferent Input. *Psychological Reviews*, 72, 33-69.
- Dietz, V., Quintern, J. & Sillem, M. (1987). Stumbling Reactions in Man: Significance of Proprioceptive and Pre-programmed Mechanisms. *Journal of Physiology (London)*, 386, 149-163.
- Dorsch, F. (1976). *Dorsch Psychologisches Wörterbuch* (9. Aufl.). Bern: Huber.
- Drowatzky, J. N. & Zuccato, F.C. (1967). Interrelationships Between Selected Measures of Static and Dynamic Balance. *Research Quarterly*, 38, 509-510.
- Dunbar, D. C., Horak, F. B., Macpherson, J. M. & Rushmer, D. S. (1986). Neural Control of Quadrupedal and Bipedal Stance: Implications for the Evolution of Erect Posture. *American Journal of Physical Anthropology*, 69, 93-105.
- Ellis, H. (1965). *Transfer of Learning*. New York: Macmillan.
- Eng, J. J., Winter, D. A., MacKinnon, C. D. & Patla, A. E. (1992). Interaction of the reactive movements and centre of mass displacement for postural control during voluntary arm movements. *Neuroscience Research Communications*, 11, 73-80.
- Engle, R. W., Tuholsky, S. W., Laughlin, J. E. & Conway, A. R. A. (1999). Working Memory, Short-term Memory, and General Intelligence: A Latent Variable Approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128, 309-331.
- Eysel, U. (2007). Sehen und Augenbewegungen. In R. F. Schmidt & F. Lang (Hrsg.), *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie* (30. neu bearb. und aktual. Aufl., S. 377-420). Heidelberg: Springer.
- 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, 1-24.
- Ferguson, G. A. (1956). On Transfer and the Abilities of Man. *Canadian Journal of Psychology*, 10, S. 121-131.

- Fetz, F. & Hatzl, T. (1994). Spitzensportler auf dem Stabilometer. *Leibesübungen, Leibeserziehung*, 48, 9 – 12.
- Fitts, P. M. & Posner, M. I. (1967). *Human Performance*. Belmont: Brooks/Cole.
- Fleishman, E. A. (1964). *The Structure and Measurement of Physical Fitness*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Fleishman, E. A. (1987). Foreword. In S. M. Cormier and J. D. Hagman, (Eds.), *Transfer of learning: Contemporary research and applications*, S. xi-xvii. San Diego: Academic Press.
- Fleishman, E. A. & Hempel, W. E. (1955). The relation between ability and improvement with practice in visual discrimination task. *Journal of Experimental Psychology*, 49, 301-312.
- Fleishman, E. A. & Quaintance, M. K. (1984). *Taxonomies of Human Performance*. Orlando: Academic Press.
- Fleishman, E. A. & Rich, S. (1963). Role of Kinesthetic and Spatial-Visual Abilities in Perceptual-Motor Learning. *Journal of Experimental Psychology*, 66, 6-11.
- France, E. P., Derscheid, G., Irrgang, J., Malone, T., Petersen, R., Tippet, S. & Wilk, K. (1992). Preliminary Clinical Evaluation of the Breg K.A.T.: Effects of Training in Normals. *Isokinetics and Exercise Science*, 2, 133-139.
- Gattermann, E. & Janda, H. W. (1996). Schulung allgemeiner koordinativer Fähigkeiten. In Deutscher Verband für das Skilehrwesen e. V. (Hrsg.), *Ski-Lehrplan Band 3 (7. völlig neubearb. Aufl.)*, S. 58-76. München: BLV.
- Gautier, G., Thouvarecq, R. & Larue, J. (2008). Influence of Experience on Postural Control: Effect of Expertise in Gymnastics. *Journal of Motor Behavior*, 40, 400-408.
- Gelfand, I. M., Gurfinkel, V. S., Tsetlin, M. L. & Shik, M. L. (1971). Problems in the Analysis of Movements. In V. S. Gurfinkel, S. V. Fomin & M. L. Tsetlin (Eds.), *Models of the Structural-Functional Organization of certain Biological Systems* (S. 330-345). London: MIT Press.
- Gentile, A. M. (1972). A Working Model of Skill Acquisition with Application to Teaching. *Quest*, 17, 3-23.

- Gerling, I. E. (1999). *Basisbuch Gerätturnen ... für alle*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Gick, M. L. & Holyoak, K. J. (1987). The Cognitive Basis of Knowledge Transfer. In S. M. Cormier and J. D. Hagman, (Eds.), *Transfer of learning: Contemporary research and applications*. San Diego: Academic Press.
- Gioftsidou, A., Malliou, P., Pafis, G., Beneka, A., Godolias, G. & Maganaris, C. N. (2006). The Effects of Soccer Training and the Timing of Balance Training on Balance Ability. *European Journal of Applied Physiology*, 96, 659-664.
- Glass, G. V., Pekham, P. D. & Sanders, J. R. (1972). Consequences of Failure to Meet Assumptions underlying the Fixed Effects Analysis of Variance and Covariance, *Review of Educational Research*, 42, 237-288.
- Goldspink, G. & Harridge, S. (2003). Cellular and Molecular Aspects of Adaptation in Skeletal Muscle. In P. V. Komi (Ed.), *Strength and Power in Sport* (2nd Ed., S. 231-251). Oxford: Blackwell.
- Gollhofer, A., Horstmann, G. A., Berger, W. & Dietz, V. (1989). Compensation of Translational and Rotational Perturbations in Human Posture: Stabilization of the Centre of Gravity. *Neuroscience Letters*, 105, 73-78.
- Goodale, M. A. & Milner, A. D. Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15, 20-25.
- Granacher, U., Iten, N., Roth, R. & Gollhofer, A. (2010). Slackline Training for Balance and Strength Promotion. *International Journal of Sports Medicine*, 31, 717-723.
- Gray, R. (2004). Attending to the Execution of a Complex Sensorimotor Skill: Expertise Differences, Choking, and Slumps. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 10, 42-54.
- Greenhouse, S. W. & Geisser, S. (1959). On Methods in the Analysis of Profile Data. *Psychometrika*, 24, 95-112.
- Gribble, P. A. & Hertel, J. (2003). Considerations for Normalizing Measures of the Star Excursion Balance Test. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 7, 89-100.

- Hackman, J. R. (1969). Toward Understanding the Role of Tasks in Behavioral Research. *Acta Psychologica*, 31, 97-128.
- Hansen, P. D., Woollacott, M. H. & Debu, B. (1988). Postural Responses to Changing Task Conditions. *Experimental Brain Research*, 73, 627-636.
- Henrich, J., Heine, S. J. & Norenzayan, A. (2010). The Weirdest People in the World? *Behavioral and Brain Sciences*, 33, 61-135.
- Henry, F. M. (1958). Specificity vs. Generality in Learning Skills. *College Physical Education Proceedings*, 61, 126-128.
- Henry, S. M., Fung, J. & Horak, F. B. (1998a). Control of Stance During Lateral and Anterior/Posterior Surface Translations. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 6, 32-42.
- Henry, S. M., Fung, J. & Horak, F. B. (1998b). EMG Responses to Maintain Stance During Multidirectional Surface Translations. *Journal of Neurophysiology*, 80, 1939-1950.
- Henry, S. M., Fung, J. & Horak, F. B. (2001). Effect of Stance Width on Multidirectional Postural Responses. *Journal of Neurophysiology*, 85, 559-570.
- Hinsdale, G. (1887). The Station of Man, Considered Physiologically and Clinically. *American Journal of Medical Sciences*, 93, 478-485.
- Hirtz, P. (1978). Schwerpunkte der koordinativ-motorischen Vervollkommnung im Sportunterricht der Klassen 1-10. *Körpererziehung*, 28, 340-344.
- Hirtz, P. (2007). Koordinative Fähigkeiten und Beweglichkeit. In K. Meinel & G. Schnabel (Hrsg.), *Bewegungslehre, Sportmotorik* (11. überarb. und erw. Aufl.), (S. 212-242). Aachen: Meyer & Meyer.
- Hoffman, M. & Payne, V. G. (1995). The Effects of Proprioceptive Ankle Disc Training on Healthy Subjects. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 21, 90-93.
- Holding, D. H. (1976). An approximate transfer surface. *Journal of Motor Behavior*, 8, 1-9.
- Holm, I., Fosdahl, M. A., Friis, A., Risberg, M. A., Myklebust, G. & Stehen, H. (2004). Effect of Neuromuscular Training on Proprioception, Balance, Muscle Strength, and Lower Limb Function in Female Team Handball Players. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 14, 88-94.

- Hopkins, K. D. & Weeks, D. L. (1990). Tests for Normality and Measures of Skewness and Kurtosis: Their Place in Research Reporting. *Educational Psychological Measurement*, 50, 717-729.
- Horak, F. B. (1987). Clinical Measurement of Postural Control in Adults. *Physical Therapy*, 67, 1881-1885.
- Horak, F. B. (1996). Adaption of Automatic Postural Responses. In J. R. Bloedel, T. J. Ebner & S. P. Wise (eds.), *The Acquisition of Motor Behavior in Vertebrates* (S. 57-85). Cambridge: MIT-Press.
- Horak, F. B., Diener, H. C. & Nashner, L. M. (1989). Influence of Central Set on Human Postural Responses. *Journal of Neurophysiology*, 62, 841-853.
- Horak, F. B., Esselman, P. E., Anderson, M. E. & Lynch, M. K. (1984). The Effect of Movement Velocity, Mass Displacement and Task Certainty on Associated Postural Adjustments Made by Normal and Hemiplegic Individuals. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 47, 1020-1028.
- Horak, F. B., Henry, S. M. & Shumway-Cook, A. (1997). Postural Perturbation: New Insights for Treatment of Balance Disorders. *Physical Therapy*, 77, 517-533.
- Horak, F. B. & King, L. A. (2010). Invited Commentary, *Physical Therapy*, 90, 491-492.
- Horak, F. B. & Moore, S. P. (1993). The Effect of Prior Leaning on Human Postural Responses. *Gait & Posture*, 1, 203-210.
- Horak, F. B. & Nashner L. M. (1986). Central Programming of Postural Movements: Adaptation to Altered Support Surface Configurations. *Journal of Neurophysiology*. 55, 1369-1381.
- Horak, F. B., Nashner, L. M. & Diener, H.C. (1990). Postural Strategies associated with Somatosensory and Vestibular Loss. *Experimental Brain Research*, 82, 167-177.
- Horak, F. B., Shupert, C. L., Dietz, V. Horstmann, G. (1994). Vestibular and somatosensory contributions to responses to head and body displacement in stance. *Experimental Brain Research*, 100, 93-106.

- Horstmann, G. A., & Dietz, V. (1990). A basic posture control mechanism: The stabilization of the centre of gravity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 76, 165–176.
- Horstmann, G. A., Gollhofer, A. & Dietz, V. (1988). Reproducibility and Adapttion of the EMG responses of the Lower Leg Following Perturbations of Upright Stance. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 70, 447-452.
- Hossner, E. - J. (1995). *Module der Motorik*. Schorndorf: Hofmann.
- Hrysomallis, C., McLaughlin, P. & Goodman, C. (2006). Relationship between Static and Dynamic Balance Tests among Elite Australian Footballers. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9, 288-291.
- Huxley, H. E. (1969). The Mechanism of Muscular Contraction. *Science*, 164, 1365.
- Ivanenko, Y. P., Levik, Y. K., Talis, V. L. & Gurfinkel V. S. (1997). Human Equilibrium on Unstable Support: The Importance of Feet-Support Interaction. *Neuroscience Letters*, 235, 109-112.
- James, W. (1890). *The principles of psychology (Vol. I, II)*. Cambridge: Harvard University Press.
- Jeffords, C. R. (1927). The Evolution of Latin-Teaching. *The School Review*, 35, 576-598.
- Jung, R. (1982). Postural Support of Goal Directed Movements: The Preparation and Guidance of Voluntary Action in Man. *Acta Biologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 33, 201-213.
- Jung, R. & Dietz, V. (1976). Übung und Seitendominanz der menschlichen Willkürmotorik: Zur Programmierung der Stoß- und Wurfbewegung im Rechts-Linksvergleich. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 222, 87-116.
- Kahneman, D. (1973): *Attention and Effort*. New York: Prentice-Hall.
- Kant, I. (1793). Ueber den Gemeinspruch: das mag in der Theorie richtig sein, taugt aber nicht für die Praxis. *Berlinische Monatsschrift*, 11 (2), S. 201-284.

- Kasai, T. & Tanga, T. (1992). Effects of Varying Load Conditions on the Organization of Postural Adjustments during Voluntary Flexion. *Journal of Motor Behavior*, 24, 359-365.
- Kelso, J. A. S. (1995). *Dynamic Patterns. The Self-Organisation of Brain and Behavior*. Cambridge: MIT Press.
- Keshner, E. A., Allum, J. H. J. & Pfaltz, C. R. (1987). Postural Coactivation and Adaption in the Sway Stabilizing Responses of Normals and Patients with Vestibular Deficit. *Experimental Brain Research*, 69, 77-92.
- Keshner, E. A., Woollacott, M. H. & Debu, B. (1988). Neck, Trunk and Limb Muscle Responses During Postural Perturbations in Humans. *Experimental Brain Research*, 71, 455-466.
- Klix, F. (1971). *Information und Verhalten*. Bern: Huber.
- Kollath, E. & Buschmann, J. (2010). *Fußball Stabilisationstraining*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Kotelnikow, V. A. (1933). On the Transmission Capacity of the 'Ether' and of Cables in Electrical Communication. *Izd. Red. Upr. Swjasi RKKK*, Moskau.
- Kovacs, E. J., Birmingham, T. D., Forwell, L. & Litchfield, R. B. (2004). Effect of Training on Postural Control in Figure Skaters. A Randomized Controlled Trial of Neuromuscular Versus Basic Off-Ice Training Programms. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 14, 215-224.
- Kreighbaum, E. & Barthels, K. M. (1996). *Biomechanics. A Qualitative Approach for Studying Human Movement* (4th Ed.). Boston: Allyn & Bacon.
- Kuchling, H. (2011). *Taschenbuch der Physik* (20. aktual. Aufl.). Leipzig: Fachbuchverlag.
- Kuliukas, A. (2002). Wading for Food: The Driving Force of the Evolution of Bipedalism? *Nutrition and Health*, 16 (4), 267-289.
- Kuo, A. D., Speers, R. A., Peterka, R. J. & Horak, F. B. (1998). Effect of Altered Sensory Conditions on Multivariate Descriptors of Human Postural Sway. *Experimental Brain Research*, 122, 185-195.
- Krüger, H.-H. & Helsper, W. (2002). *Einführung in Grundbegriffe und Grundfragen der Erziehungswissenschaft*. Opladen: Leske und Budrich.
- Langfeldt, H.-P. (1996). *Psychologie*. Neuwied: Luchterhand.

- Leakey, M. D. & Hay, R. L. (1979). Pliocene Footprints in the Laetoli Beds at Laetoli, North Tanzania. *Nature*, 278, 317-323.
- Lee, T. D. (1988). Transfer-Appropriate Processing: A Framework for Conceptualizing Practice Effects in Motor Learning. In O. G. Meijer & K. Roth (Eds.), *Complex Movement Behaviour: The Motor-Action Controversy* (S. 201-215). Amsterdam: North-Holland.
- Lee, W. A. (1980). Anticipatory Control of Posture and Task Muscles During Rapid Arm Flexion. *Journal of Motor Behavior*, 12, 185-196.
- Lee, W. A., Buchanan, T. S. & Rogers, M. W. (1987). Effects of Arm Acceleration and Behavioral Conditions on the Organization of Postural Adjustments During Arm Flexion. *Experimental Brain Research*, 66, 257-270.
- Lefrançois, G. R. (2006). *Psychologie des Lernens* (4. überarb. und erw. Aufl.). Berlin: Springer.
- Lehmann-Horn, F. (2007). Motorische Systeme. In R. F. Schmidt & F. Lang (Hrsg.), *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie* (30. neu bearb. und aktual. Aufl., S. 143-183). Heidelberg: Springer.
- Lewin, K. (1951). Problems of Research in Social Psychology. In D. Cartwright (Ed.), *Field Theory in Social Science; Selected Theoretical Papers* (S. 155-169). New York: Harper.
- Lilliefors, H. W. (1967). On the Kolmogorov-Smirnov Test for Normality with Mean and Variance Unknown. *Journal of the American Statistical Association*, 62, 399-402.
- Locke, J. (1706). Of the Conduct of Understanding. In P. King & A. Collins (eds.), *Posthumous Works of Mr. John Locke*, 1-134. London: Churchill.
- Lovejoy, C. O. (2009). Reexamining Human Origins in Light of *Ardipithecus Ramidus*. *Science*, 326, 74e1-74e8.
- Lugade, V., Lin, V. & Chou, L. (2011). Center of mass and base of support interaction during gait. *Gait & Posture*, 33, 406-411.
- Macpherson, J. M., Horak, F. B., Dunbar, D. C. & Dow, R. S. (1989). Stance Dependence of Automatic Postural Adjustments in Humans. *Experimental Brain Research*, 78, 557-566.

- Magill, R. A. (2011). *Motor Learning and Control* (9th Ed.). New York: McGraw-Hill.
- Magill, R. A. & Hall, K. G. (1990). A Review of Contextual Interference Effect in Motor Skill Acquisition. *Human Movement Science*, 9, 241-289.
- Maki, B. E., Whitelaw, R. S. & McIlroy, W. E. (1993). Does Frontal-Plane Asymmetry in Compensatory Postural Responses Represent Preparation for Stepping? *Neuroscience Letters*, 149, 87-90.
- Mansfield, A., Peters, A. L., Liu, B. A. & Maki, B. E. (2010). Effect of a Perturbation-Based Balance Training Program on Compensatory Stepping and Grasping Reactions in Older Adults: A Randomized Controlled Trial. *Physical Therapy*, 90, 476-491.
- Martin, K., Carl, D. & Lehnertz, K. (1991). *Handbuch Trainingslehre*. Schorn-dorf: Hofmann.
- Massion, J. (1992). Movement, posture and equilibrium: Interaction and coordination. *Progress in Neurobiology*, 38, 35-56.
- Maxwell, J. P., Masters, R. S. W., Kerr, E. & Weedon, E. (2001). The Implicit Benefit of Learning Without Errors. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 54, 1049-1068.
- McCollum, G., Shupert, C. L. & Nashner, L. M. (1996). Organizing Sensory Information for Postural Control in Altered Sensory Environments. *Journal of Theoretical Biology*, 180, 257-270.
- McGeoch, J. A. (1942). *The Psychology of Human Learning - an Introduction*. New York: Longmans.
- McIlroy, W. E. & Maki, B. E. (1993). Changes in Early 'Automatic' Postural Responses Associated with the Prior-Planning and Execution of a Compensatory Step. *Brain Research*, 631, 203-211.
- McIlroy, W. E. & Maki, B. E. (1995). Adaptive Changes to Compensatory Stepping Responses. *Gait & Posture*, 3, 43-50.
- McIlroy, W. E., Norrie, R. G., Brooke, J. D., Bishop, D. C., Nelson, A. J. & Maki, B. E. (1999). Temporal Properties of Attention Sharing Consequent to Disturbed Balance. *NeuroReport*, 10, 2895-2899.

- McKeachie, W. J. (1987). Cognitive Skills and their Transfer: Discussion. *International Journal of Educational Research*, 6, 707-712.
- McNevin, N. H., Shea, C. H. & Wulf, G. (2003). Increasing the Distance of an External Focus of Attention Enhances Learning. *Psychological Research*, 67, 22-29.
- Mechling, H. (2003). Von koordinativen Fähigkeiten zum Strategie-Adaptations-Ansatz. In H. Mechling & J. Munzert (Hrsg.), *Handbuch Bewegungswissenschaft – Bewegungslehre* (S. 347-369). Schorndorf: Hofmann.
- Meijer, O. G. & Roth, K. (Eds.). (1988). *Complex Movement Behavior – The Motor-Action Controversy*. Amsterdam: North-Holland.
- Michell, T. B., Ross, S. E., Blackburn J. T., Hirt, C. J. & Guskiewicz, K. M. (2006). Functional Balance Training, With or Without Exercise Sandals, for Subjects With Stable or Unstable Ankles. *Journal of Athletic Training*, 41, 393-398.
- Mielke, R. (2001). *Psychologie des Lernens*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Moore, S. P., Rushmer, D. S., Windus, S. L. & Nashner, L. M. (1988). Human Automatic Postural Responses: Responses to Horizontal Perturbations of Stance in Multiple Directions. *Experimental Brain Research*, 73, 648-658.
- Mouchnino, L., Aurenty, R., Massion, J. & Pedotti, A. (1992). Coordination between equilibrium and head-trunk orientation during leg movement: A new strategy build up by training. *Journal of Neurophysiology*, 67, 1587–1598.
- Mouchnino, L., Cincera, M., Fabre, J. C., Assaiante, C., Amblard, B., Pedotti, A. & Massion, J. (1996). Is the regulation of the center of mass maintained during leg movement under microgravity conditions? *Journal of Neurophysiology*, 76, 1212–1223.
- Müller, H. & Krummenacher, J. (2006). Funktionen und Modelle der selektiven Aufmerksamkeit. In H. O. Karnath & P. Thier (Hrsg.), *Neuropsychologie* (2., aktualisierte und erweiterte Aufl., S. 239-253). Heidelberg: Springer.
- Nardone, A. & Schieppati, M. (1988). Postural Adjustments Associated with Voluntary Contraction of Leg Muscles in Standing Man. *Experimental Brain Research*, 69, 469-480.

- Nashner, L. M. (1971). A Model Describing Vestibular Detection of Body Sway Motion. *Acta Oto-laryngologica*, 72, 429-436.
- Nashner, L. M. (1976). Adapting Reflexes Controlling Human Posture. *Experimental Brain Research*, 26, 59-72.
- Nashner, L. M. (1977). Fixed Patterns of Rapid Postural Responses among Leg Muscles during Stance. *Experimental Brain Research*, 30, 13-24.
- Nashner, L. M. & Berthoz, A. (1978). Visual Contribution to Rapid Motor Responses During Posture Control. *Brain Research*, 150, 403-407.
- 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.
- Nashner, L. M. & Woollacott, M. H. (1979). The Organization of Rapid Postural Adjustments of Standing Humans: An Experimental Conceptual Model. In R. E. Talbott & D. R. Humphrey (Eds.), *Posture and Movement* (S. 243-257). New York: Raven Press.
- Nashner, L. M., Woollacott, M. H. & Tuma, G. (1979). Organization of Rapid Responses to Postural and Locomotor-like Perturbations of Standing Man. *Experimental Brain Research*, 36, 463-476.
- O'Connor, S. M. & Kuo, A. D. (2009). Direction-dependent Control of Balance during Walking and Standing. *Journal of Neurophysiology*, 102, 1411-1419.
- Oddsson, L. & Thorstensson, A. (1986). Fast Voluntary Trunk Flexion Movements in Standing: Primary Movements and Associated Postural Adjustments. *Acta Physiologica Scandinavica*, 128, 341-349.
- Ogden, G. D., Jerrold, M. L. & Eisner, E. J. (1979). Measurement of Workload by Secondary Tasks. *Human Factors*, 21, 529-548.
- O'Higgins, P. & Elton, S. (2007). Walking on Trees. *Science*, 316, 1292-1294.
- Olivier, N. (1996). *Techniktraining unter konditioneller Beanspruchung. Zum Einfluss konditioneller Belastungen auf das sportmotorische Lernen und Techniktraining*. Schorndorf: Hofmann.

- Olivier, N. (1997). Zur Fertigkeitsspezifität der Gleichgewichtsregulation. In E. Loosch & M. Tamme (Hrsg.), *Motorik –Struktur und Funktion* (S. 72-75). Hamburg: Czwalina.
- Olivier, N., Daus, R., Augste, C. & Panzer, S. (2000). Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher Trainingsbedingungen auf die Transferabilität des motorischen Gleichgewichts. In BISp (Hrsg.), *Jahrbuch 1999* (S. 201-204). Schorndorf:Hofmann.
- Olivier, N., Marschall, F. & Büsch, D. (2008). *Grundlagen der Trainingswissenschaft und –lehre*. Schorndorf: Hofmann.
- Olivier, N. & Rockmann, U. (2003). *Grundlagen der Bewegungswissenschaft und –lehre*. Schorndorf: Hofmann.
- Osgood, C. E. (1949). The similarity paradox in human learning: a resolution. *Psychological Review*, 56, 132-143.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms. Children, Computers and Powerful Ideas*. New York: Basic Books.
- 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.
- Pedotti, A., Crenna, P., Deat, A., Frigo, C. & Massion, J (1989). Postural Synergies in Axial Movements: Short and Long-Term Adaption. *Experimental Brain Research*, 74, 3-10.
- Perrin, P., Deviterne, D. & Perrot, C. (2002). Judo, Better than Dance, Develops Sensorimotor Adaptabilities Involved in Balance Control. *Gait & Posture*, 15, 187-194.
- Poolton, J. M., Masters, R. S. W. & Maxwell, J. M. (2005). The Relationship between Initial Errorless Learning Conditions and Subsequent Performance. *Human Movement Science*, 24, 362-378.
- Popper, K. (2005). *Logik der Forschung* (11. durchges. und erg. Aufl.). Tübingen: Mohr Siebeck.
- Posner, M. I. & Boies, S. J. (1971). Components of Attention. *Psychological Review*, 78, 391-408.

- Prather, D. C. (1971). Trial-and-error versus Errorless Learning: Training, Transfer, and Stress. *American Journal of Psychology*, 84, 377–386.
- Preuschoft, H. (2004). Mechanisms for the Acquisition of Habitual Bipedality: Are there Biomechanical Reasons for the Acquisition of Upright Bipedal Posture? *Journal of Anatomy*, 204, 363-384.
- Proteau, L. (1992). On the Specificity of Learning and the Role of Visual Information for Movement Control. In L. Proteau & D. Elliott (Eds.), *Vision and Motor Control* (S. 67-103). Amsterdam: North-Holland.
- Proteau, L. & Cournoyer, J. (1990). Vision of the Stylus in a Manual Aiming Task: The Effects of Practice. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 42B, 811-828.
- Proteau, L., Marteniuk, R., Girouard, Y. & Dugas, C. (1987). On the Type of Information used to Control and Learn an Aiming Movement after Moderate and Extensive Training. *Human Movement Science*, 6, 181-199.
- Proteau, L., Marteniuk, R. & Lévesque, L. (1992). A Sensorimotor Basis for Motor Learning: Evidence indicating Specificity of Learning. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 44A, 557-575.
- Puttemans, V., Wenderoth, N. & Swinnen, S. P. (2005). Changes in Brain Activation during the Acquisition of a Multifrequency Bimanual Coordination Task: From the Cognitive Stage to Advanced Levels of Automaticity. *The Journal of Neuroscience*, 25, 4270-4278.
- Raichlen, D. A., Gordon, A. D., Harcourt-Smith, W. E. H., Foster, A. D. & Haas, W. R. (2010). Laetoli Footprints Preserve Earliest Direct Evidence of Human-Like Bipedal Biomechanics. *PLoS One*, 5 (3), e9763.
- Rasool, J. & George, K. (2007). The Impact of Single-Leg Dynamic Balance Training on Dynamic Stability. *Physical Therapy in Sport*, 8, 177-184.
- Redfern, M. S., Müller, M. L., Jennings, J. R. & Furman, J. M. (2002). Attentional Dynamics in Postural Control During Perturbations in Young and Older Adults. *Journals of Gerontology. Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 57, B298-B303.
- Robertson, S. & Elliott, D. (1996). Specificity of Learning and Dynamic Balance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 67, 69-75.

- Robinson, E. S. (1927). The 'similarity' factor in retroaction. *American Journal of Psychology*, 39, 297-312.
- Rombach, H. (1971). *Lexikon der Pädagogik*. Freiburg: Herder.
- Rostock, J. & Zimmermann, K. (1997). Koordinationstraining als Fertigungs- und Fähigkeitstraining. In P. Hirtz & F. Nüske (Hrsg.), *Bewegungskoordination und sportliche Leistung integrativ betrachtet* (S. 182-186). Hamburg: Czwalina.
- Rothermel, S. A., Hale, S. A., Hertel, J. & Denegar, C. R. (2004). Effect of Active Foot Positioning on the Outcome of a Balance Training Program. *Physical Therapy in Sport*, 5, 98-103.
- Royer, J. M. (1979). *Theories of the Transfer of Learning*. *Educational Psychologist*, 14, 53-69.
- Schmidt, R. A. (1975). A Schema Theory of Discrete Motor Skill Learning. *Psychological Review*, 82, 225-260.
- Schmidt, R. A. & Lee, T. D. (2005). *Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis* (4th ed.). Champaign: Human Kinetics.
- Schmidt, R. A. & Young, D. E. (1987). Transfer of movement control in motor skill learning. In S. M. Cornier and J. D. Hagman, (Eds.), *Transfer of learning: Contemporary research and applications* (S. 47-79). San Diego: Academic Press.
- Schnabel, P. (2007). *Elektronik-Fibel* (4. Aufl.). Dortmund: Books on Demand.
- Schneider, W. & Fisk, A. D. (1983). Attentional Theory and Mechanisms for Skilled Performance. In R. A. Magill (ed.), *Memory and Control of Action* (S. 119-143). New York: North-Holland.
- Schünke, M., Schulte, E. & Schumacher, U. (2006). *Kopf und Neuroanatomie*. Stuttgart: Thieme.
- Scott, M. G. (1955). Measurement of Kinesthesia. *Research Quarterly*, 26, 324-341.
- Shannon, C. E. (1949). Communication in the Presence of Noise. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, 37, 10-21.

- Shea, J. B. & Morgan, R. L. (1979). Contextual Interference Effects on the Acquisition, Retention and Transfer of the Motor Skill. *Journal of Experimental Psychology*, 5, 179-187.
- Sherrington, C. S. (1910). Flexion Reflex of the Limb, Crossed-Extension Reflex, and Reflex Stepping and Standing. *Journal of Physiology (London)*, 22, 319-332.
- Sherwood, D. E. & Smith, R. A. (1980). The Relationship between Force and Force Variability in Minimal and Near-Maximal Static and Dynamic Contractions. *Journal of Motor Behavior*, 12, 75-89.
- Singley, M. K., & Anderson, I. R. (1989). *The transfer of cognitive skill*. Cambridge: Harvard University Press
- Skaggs, E. B. (1925). Further Studies in Retroactive Inhibition. *Psychology Monograph*, 34, 1-60.
- Skaggs, E. B. (1937). Further Studies of Bodily Sway. *The American Journal of Psychology*, 49, 105-
- Skaggs, E. B., Skaggs, I. S. & Jardon, M. (1932). Attention and Bodily Sway. *The American Journal of Psychology*, 44, 749-
- Stapley, P. J., Pozzo, T., Cheron, G. & Grishin, A. (1999). Does the coordination between posture and movement during human whole-body reaching ensure center of mass stabilization? *Experimental Brain Research*, 129, 134-146.
- Stedman, H. H., Kozyak, B. W., Nelson, A., Thesier, D. M., Su, L. T., Low, D. W., Bridges, C. R., Shrager, J. B., Minugh-Purvis, N. & Mitchell, M. A. (2004). Myosin Gene Mutation Correlates with Anatomical Changes in the Human Lineage. *Nature*, 428, 415-418.
- 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.
- Tewes, U. & Wildgrube, K. (1992). *Psychologie – Lexikon*. München: Oldenbourg.

- Thorndike, E. L. & Woodworth, R. S. (1901a). The Influence of Improvement in one Mental Function upon the Efficiency of other Functions. I. *Psychological Review*, 8, 247-261.
- Thorndike, E. L. & Woodworth, R. S. (1901b). The Influence of Improvement in one Mental Function upon the Efficiency of other Functions. II. The Estimation of Magnitudes. *Psychological Review*, 8, 384-395.
- Thorndike, E. L. & Woodworth, R. S. (1901c). The Influence of Improvement in one Mental Function upon the Efficiency of other Functions. III. Functions Involving Attention, Observation and Discrimination. *Psychological Review*, 8, 553-564.
- Thorpe, S. K. S., Holder, R. L. & Crompton R. H. (2007). Origin of Human Bipedalism as an Adaptation for Locomotion on Flexible Branches. *Science*, 316, 1328-1331.
- Toussaint, H. M., Michies, Y. M., Baber, M. N., Commissaris, A. C. M., van Dieën, J. H. (1998). Scaling Anticipatory Postural Adjustments Dependent on Confidence of Load Estimation in a Bimanual Whole-Body Lifting Task. *Experimental Brain Research*, 120, 85-94.
- Treede, R.-D. (2007). Das somatosensorische System. In R. F. Schmidt & F. Lang (Hrsg.), *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie* (30. neu bearb. und aktual. Aufl., S. 296-323). Heidelberg: Springer.
- Trepel, M. (2005). *Neuroanatomie – Struktur und Funktion* (3. Aufl., 1. Nachdr.). München: Urban & Fischer.
- Tsigilis, N., Zachopoulou, E. & Mavridis, T. (2001). Evaluation of the Specificity of Selected Dynamic Balance Tests. *Perceptual and Motor Skills*, 92, 827-833.
- Turbanski, S. & Schmidtbleicher, D. (2010). Posturale Kontrolle als situationsabhängige Fertigkeit. *Sportverletzung Sportschaden*, 24, 123-128.
- Turvey, M. T. (1990). Coordination. *American Psychologist*, 45, 938-953.
- Underwood, B. J. (1975). Individual Differences as a Crucible in Theory Construction. *American Psychologist*, 30, 128-134.
- Vernazza, S., Alexandrov, A. & Massion, J. (1996). Is the center of gravity controlled during upper trunk movements? *Neuroscience Letters*, 206, 77-80.

- Vernazza-Martin, S., Martin, N., Le Pellec-Muller A., Tricon, V. & Massion, J. (2006). Kinematic synergy adaptation to an unstable support surface and equilibrium maintenance during forward trunk movement. *Experimental Brain Research*, 173, 62-78.
- Verrel, J., Lövdén, M. & Lindenberger, U. (2010). Motor-equivalent covariation stabilizes step parameters and center of mass position during treadmill walking. *Experimental Brain Research*, 207, 13-26.
- Vuillerme, N., Danion, F., Marin, L., Boyadjian, A., Prieur, J. M., Weise, I. & Nougier, V. (2001). The Effect of Expertise in Gymnastics on Postural Control. *Neuroscience Letters*, 303, 83-86.
- Wasserzieher, E. (1966). *Woher? Ableitendes Wörterbuch der deutschen Sprache* (17. Neubearb. Aufl.). Bonn: Dümmler.
- Watson, J. B. (1931). Psychology as the Behaviorist Sees It. *Psychological Review*, 20, 158-177.
- Whittaker, J. M. (1929). The Fourier Theory of the Cardinal Functions. *Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society*, 2, 1-5.
- Wickens, C. D. (1980). The Structure of Attentional Resources. In R. S. Nickerson (Ed.), *Attention and Performance VIII* (S. 239-257). Hillsdale: Erlbaum.
- Wickens, C. D. (1984). Processing Resources in Attention. In R. Parasuraman & R. Davies (Eds.), *Varieties of attention* (S. 63-101). New York: Academic Press.
- Wiemeyer, J. (1998). Schlecht üben, um gut zu lernen? Narrativer und meta-analytischer Überblick zum Kontext-Interferenz-Effekt. *Psychologie und Sport*, 3, 82-105.
- Winter, D. A., Prince, F., Frank, J. S., Powell, C. & Zabjek, K. F. (1996). Unified Theory Regarding A/P and M/L Balance in Quiet Stance. *Journal of Neurophysiology*, 75, 2334-2343.
- Woollacott, M. H. & Jensen, J. L. (1994). Haltung und Fortbewegung. In H. Heuer & S. W. Keele (Hrsg.), *Psychomotorik* (S. 413-508). Göttingen: Hogrefe.

- Woollacott, M. H. & Jensen, J. L. (1996). Posture and Locomotion. In H. Heuer & S. Keele (Eds.), *Handbook of Perception and Action. Volume 2: Motor Skills* (S. 333-404). London: Academic Press.
- Woollacott, M. H., Shumway-Cook, A. & Nashner, L. M. (1986). Aging and Posture Control: Changes in Sensory Organization and Muscular Coordination. *International Journal of Aging and Human Development*, 23, 97-114.
- Wulf, G. (2007). Attentional focus and motor learning: A review of 10 years of research. *E-Journal Bewegung und Training*.
- Wulf, G., Höß, M. & Prinz, W. (1998). Instructions for Motor Learning: Differential Effects of Internal versus External Focus of Attention. *Journal of Motor Behavior*, 30, 169-179.
- Wulf, G. & McNevin, N. (2003). Simply Distracting Learners is not enough: More Evidence for the Learning Benefits of an External Focus of Attention. *European Journal of Sport Science*, 3(5), 1-13.
- Wulf, G. & Prinz, W. (2001). Directing Attention to Movement Effects Enhances Learning: A Review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8, 648-660.
- Wulf, G., Shea, C. H. & Park, J.-H. (2001). Attention and Motor Performance: Preferences for and Advantages of an External Focus. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 72, 335-344.
- Wulf, G. & Su, J. (2007). An External Focus of Attention Enhances Golf Shot Accuracy in Beginners and Experts. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 78, 384-389.
- Wulf, G., Zachry, T., Granados, C. & Dufek, J. S. (2006). Increases in Jump-and-Reach Height through an External Focus of Attention. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 2, 275-284.
- Wünnemann, M., Wilbert, M. & Olivier, N. (2008). Einfluss von Badminton-Schlagtechniktraining auf instabilen Untergründen auf Badminton-spezifische Präzisionsparameter und biomechanische Stabilisationsparameter. In A. Woll, W. Klöckner, M. Reichmann & M. Schlag (Hrsg.), *Sport-spielkulturen erfolgreich gestalten* (S. 109-112). Hamburg: Czwalina.
- Yaggie, J. A. & Campbell, B. M. (2006). Effects of Balance Training on Selected Skills. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20, 422-428.

- Zachry, T., Wulf, G., Mercer, J. & Bezodis, N. (2005). Increased Movement Accuracy and Reduced EMG Activity as the Result of an External Focus of Attention. *Brain Research Bulletin*, 67, 304-309.
- Zanone, P. G. & Kelso, J. A. S. (1992). Learning and Transfer as Dynamical Paradigms for Behavioral Change. In G. E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in Motor Behavior* (S. 563-582). Amsterdam: Elsevier.
- Zattara, M. & Bouisset, S. (1986). Chronometric Analysis of the Posturo-Kinetic Programming of the Voluntary Movement. *Journal of Motor Behavior*, 18, 215-223.
- Zattara, M. & Bouisset, S. (1988). Posturo-Kinetic Organization During the Early Phase of Voluntary Upper Limb Movement. 1 Normal Subjects. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 51, 956-965.
- Zenner, H.-P. (2007). Der Gleichgewichtssinn und die Bewegungs- und Lageempfindung des Menschen. In R. F. Schmidt & F. Lang (Hrsg.), *Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie* (30. neu bearb. und aktual. Aufl., S. 367-376). Heidelberg: Springer.
- Zimbardo, P. G. (1992). *Psychologie*. Berlin: Springer.
- Zimmermann, K. (1987). Koordinative Fähigkeiten und Beweglichkeit. In K. Meinel & G. Schnabel (Hrsg.), *Bewegungslehre – Sportmotorik: Abriß einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt* (8. Stark überarb. Aufl., S. 242-274). Berlin: Volk und Wissen.

Anhang

1. Eingangsfragebogen Experiment 1

Fragebogen zur Studie „Transfereffekte bei Gleichgewichtsaufgaben“

Name: _____
 Vorname: _____
 Geb.-Datum: _____
 E-mail: _____
 Handy: _____

Hauptsportart: _____
 Seit wie viel Jahren? _____
 Seit wie viel Jahren Leistungsmäßig? _____

Trainingsumfang in Stunden pro Woche: _____

Sportartspezifisch: _____
 Kraft: _____
 Ausdauer: _____
 Sonstiges: _____

Sonstige Sportarten: _____

Trainieren Sie regelmäßig auf „instabilen“ Trainingsgeräten, wie zum Beispiel einem Therapiekreisel?

- ☐ Ja
☐ Nein

Haben Sie bereits an einer Untersuchung teilgenommen, bei der Sie Gleichgewichtsaufgaben auf einem Stabilometer bewältigen mussten?

- ☐ Ja
☐ Nein

Haben Sie im letzten Jahr eine Verletzung im Bereich der unteren Extremitäten gehabt?

- ☐ Ja
 wann, welche? _____

- ☐ Nein

Leiden Sie an neurologischen Erkrankungen, die ihr Gleichgewicht einschränken?

- ☐ Ja
☐ Nein

Haben Sie eine nicht korrigierte Beeinträchtigung des Sehvermögens?

- ☐ Ja
☐ Nein

Dürfen Wir Sie wegen weiterer Experimente im Arbeitsbereich Bewegung und Training kontaktieren?

- ☐ Ja
☐ Nein

2. Einverständniserklärung Experiment 1

Einverständniserklärung

zur Teilnahme an der Untersuchung zum

„Transfereffekte bei Gleichgewichtsaufgaben auf einem Stabilometer“

Zweck der Untersuchung

Ziel der Untersuchung ist es, grundlegende Erkenntnisse darüber zu gewinnen, unter welchen Bedingungen positive Transfereffekte bei Gleichgewichtsaufgaben auftreten.

Ablauf der Studie

Die Untersuchung umfasst eine Aneignungsphase zur Gewöhnung an sieben Testaufgaben, zwei Testtermine (Vortest und Nachtest), an denen die sieben Tests durchgeführt werden und eine Trainingsphase über 4 Wochen in der eine Stabilometeraufgabe geübt wird.

Stabilometer-Aufgaben

Bei den drei Stabilometer-Tests steht man 30 Sekunden lang, mit Händen an den Hüften und leicht gebeugten Kniegelenken auf dem Stabilometer. Auf einem Stabilometer kann die Unterstützungsfläche bis zu 10° in anterior-posterior (vor-zurück) und medial-lateral (links-rechts) von der Horizontalen abweichen. Auf einem anderen sind bis zu 20° Abweichung in medial-lateral möglich. Die Aufgabe ist es, diese Abweichungen möglichst gering zu halten. Die Abweichung von der Horizontalen wird mit Hilfe von zwei Potentiometern, die am Stabilometer befestigt sind erfasst.

Die teilnehmenden Versuchspersonen werden fünf Versuchsgruppen zugeteilt, die sich anhand des Trainingsprogramms zwischen Vor- und Nachtest unterscheiden.

Untersuchungsablauf

Aneignungsphase, Vor- und Nachtest

(1)	Erläuterung Untersuchung und Versuchsablauf der Untersuchung
(2)	Lesen und Unterzeichnung der Einverständniserklärung durch die Versuchsperson
(3)	7 Stabilometeraufgaben in vorgegebener Reihenfolge
(4)	Während der Aneignungsphase werden die 7 Aufgaben noch einmal wiederholt.

Trainingsphase

Trainiert wird zweimal wöchentlich über 4 Wochen. Die Versuchsgruppen unterscheiden sich hinsichtlich der trainierten Aufgabe. In der Kontrollgruppe findet kein Training statt.

Risiken

Bei einer korrekten Durchführung der Testaufgaben besteht für gesunde Versuchspersonen kein Verletzungsrisiko.

Vertraulichkeit

Alle Daten werden vertraulich behandelt.

Freiwilligkeit

Die Teilnahme an der Untersuchung ist freiwillig. Sie können ihre Zusage jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne, dass Sie Nachteile befürchten müssen, zurückziehen.

Einverständniserklärung

Ich bin über Zweck, Ablauf, mögliche Unannehmlichkeiten und Risiken der Untersuchung aufgeklärt worden.

Ich bin damit einverstanden, dass die benannten Daten mittels Potentiometern und Fragebogen erhoben werden und zu rein wissenschaftlichen Zwecken verwendet werden.

Ich habe ein Exemplar der Einverständniserklärung zum Mitnehmen erhalten.

Ich erkläre mich mit der Teilnahme an der Untersuchung „Transfereffekte bei Gleichgewichtsaufgaben auf einem Stabilometer“ einverstanden.

Datum, Ort

Unterschrift der Versuchsperson

3. Überprüfung der Federkonstanten Experiment 1

Angaben zu den verwendeten Zugfedern laut Hersteller (Lothar Müller Federn GmbH, Münsingen). Lo: ungespannte Länge, Lk: Körperlänge, Lh: Ösenhöhe, Ln: gespannte Länge max., Fn: Kraft bei Ln, c: Federrate, g: Gewicht der Feder.

Bestell-Nr.	Lo [mm]	Lk [mm]	Lh [mm]	Ln [mm]	Fn[N]	c [N/mm]	g [g]
NZ-8443	91,90	65,60	13,10	348,75	34,86	0,12	25,67
NZ-8506	90,00	59,30	15,30	306,65	51,94	0,21	32,45
NZ-8618	110,00	77,00	16,50	295,10	113,88	0,54	60,83

Überprüfung der Federrate vor Untersuchungsbeginn mit Hilfe einer Kraftmessplatte (Kistler Typ 9281C, Winterthur, CH). L: gespannte Länge, F: gemessene Kraft, c: berechnete Federkonstante.

Feder	l [mm]	F [N]	c [N/mm]	Feder	l [mm]	F [N]	c [N/mm]
NZ-8443	10	1,88	0,188	NZ-8506	10	2,87	0,287
NZ-8443	20	3,22	0,161	NZ-8506	20	5,12	0,256
NZ-8443	30	4,60	0,153	NZ-8506	30	7,11	0,237
NZ-8443	40	5,46	0,137	NZ-8506	40	9,12	0,228
NZ-8443	50	6,23	0,125	NZ-8506	50	11,15	0,223
NZ-8443	60	7,36	0,123	NZ-8506	60	13,10	0,218
NZ-8443	70	8,34	0,119	NZ-8506	70	15,12	0,216
NZ-8443	80	9,46	0,118	NZ-8506	80	17,16	0,215
NZ-8443	90	10,59	0,118	NZ-8506	90	19,21	0,213
NZ-8443	100	11,73	0,117	NZ-8506	100	21,33	0,213

Überprüfung der Federrate nach Untersuchungsende mit Hilfe einer Kraftmessplatte (Kistler Typ 9281C, Winterthur, CH). L: gespannte Länge, F: gemessene Kraft, c: berechnete Federkonstante.

Feder	l [mm]	F [N]	c [N/mm]	Feder	l [mm]	F [N]	c [N/mm]
NZ-8443	10	1,98	0,198	NZ-8506	10	2,64	0,264
NZ-8443	20	3,39	0,170	NZ-8506	20	4,88	0,244
NZ-8443	30	4,43	0,148	NZ-8506	30	7,05	0,235
NZ-8443	40	5,39	0,135	NZ-8506	40	9,23	0,231
NZ-8443	50	6,19	0,124	NZ-8506	50	11,2	0,224
NZ-8443	60	7,45	0,124	NZ-8506	60	13,25	0,221
NZ-8443	70	8,38	0,120	NZ-8506	70	15,01	0,214
NZ-8443	80	9,38	0,117	NZ-8506	80	17,05	0,213
NZ-8443	90	10,49	0,117	NZ-8506	90	19,12	0,212
NZ-8443	100	11,77	0,118	NZ-8506	100	21,18	0,212

4. Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest mit Lilliefors-Schranken (Experiment 1)

VGStarke Federn

	<i>D</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	Schiefe	Kurtosis
RMSE (ap), <i>I-Starke Federn</i> , Pre	.222	12	.107	-1.885	4.888
RMSE (ml), <i>I-Starke Federn</i> , Pre	.191	12	>.200	1.019	3.185
RMSE (ap), <i>I-Standard</i> , Pre	.199	12	>.200	0.865	-0.367
RMSE (ml), <i>I-Standard</i> , Pre	.112	12	>.200	-0.006	-0.870
RMSE (ap), <i>I-Blind</i> , Pre	.254	12	.032	0.852	0.012
RMSE (ml), <i>I-Blind</i> , Pre	.184	12	>.200	-0.228	-1.295
RMSE (ap), <i>I-ap</i> , Pre	.129	12	>.200	0.359	-0.631
RMSE (ml), <i>I-ml</i> , Pre	.155	12	>.200	-0.240	0.898
RMSE (ml), <i>II-ml</i> , Pre	.125	12	>.200	0.084	-0.609
RMSE (ml), <i>II-Blind</i> , Pre	.110	12	>.200	0.107	-0.355
RMSE (ap), <i>I-Starke Federn</i> , Post	.136	12	>.200	-0.347	-0.947
RMSE (ml), <i>I-Starke Federn</i> , Post	.156	12	>.200	0.470	-0.851
RMSE (ap), <i>I-Standard</i> , Post	.097	12	>.200	0.086	-0.525
RMSE (ml), <i>I-Standard</i> , Post	.164	12	>.200	-0.189	0.762
RMSE (ap), <i>I-Blind</i> , Post	.329	12	.001	2.634	7.888
RMSE (ml), <i>I-Blind</i> , Post	.199	12	>.200	-0.340	-1.264
RMSE (ap), <i>I-ap</i> , Post	.174	12	>.200	-0.910	1.168
RMSE (ml), <i>I-ml</i> , Post	.175	12	>.200	-0.054	-1.253
RMSE (ml), <i>II-ml</i> , Post	.200	12	>.200	-0.178	-1.446
RMSE (ml), <i>II-Blind</i> , Post	.205	12	.175	-1.322	2.351

VG_{Standard}

	<i>D</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	Schiefe	Kurtosis
RMSE (ap), <i>I-Starke Federn</i> , Pre	.150	12	>.200	-0.350	0.064
RMSE (ml), <i>I-Starke Federn</i> , Pre	.134	12	>.200	0.106	-0.742
RMSE (ap), <i>I-Standard</i> , Pre	.178	12	>.200	-0.555	2.943
RMSE (ml), <i>I-Standard</i> , Pre	.120	12	>.200	-0.042	-0.408
RMSE (ap), <i>I-Blind</i> , Pre	.195	12	>.200	0.744	0.618
RMSE (ml), <i>I-Blind</i> , Pre	.128	12	>.200	0.073	-1.322
RMSE (ap), <i>I-ap</i> , Pre	.272	12	.014	-0.839	-0.121
RMSE (ml), <i>I-ml</i> , Pre	.184	12	>.200	-0.490	-0.306
RMSE (ml), <i>II-ml</i> , Pre	.200	12	>.200	0.274	-1.446
RMSE (ml), <i>II-Blind</i> , Pre	.195	12	>.200	-0.950	0.446
RMSE (ap), <i>I-Starke Federn</i> , Post	.223	12	.102	-0.199	-1.879
RMSE (ml), <i>I-Starke Federn</i> , Post	.122	12	>.200	0.358	-0.683
RMSE (ap), <i>I-Standard</i> , Post	.130	12	>.200	-0.005	-0.758
RMSE (ml), <i>I-Standard</i> , Post	.119	12	>.200	-0.128	-0.858
RMSE (ap), <i>I-Blind</i> , Post	.143	12	>.200	-0.024	-0.579
RMSE (ml), <i>I-Blind</i> , Post	.193	12	>.200	-0.226	0.005
RMSE (ap), <i>I-ap</i> , Post	.212	12	.142	-0.258	-1.884
RMSE (ml), <i>I-ml</i> , Post	.182	12	>.200	-0.699	-0.964
RMSE (ml), <i>II-ml</i> , Post	.234	12	.068	-0.073	-1.768
RMSE (ml), <i>II-Blind</i> , Post	.212	12	.143	-0.658	-0.897

VG_{Blind}

	<i>D</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	Schiefe	Kurtosis
RMSE (ap), <i>I-Starke Federn</i> , Pre	.197	12	>.200	-1.709	3.752
RMSE (ml), <i>I-Starke Federn</i> , Pre	.153	12	>.200	-0.578	0.435
RMSE (ap), <i>I-Standard</i> , Pre	.190	12	>.200	0.167	0.316
RMSE (ml), <i>I-Standard</i> , Pre	.188	12	>.200	-0.186	-1.245
RMSE (ap), <i>I-Blind</i> , Pre	.211	12	.144	-0.477	-1.476
RMSE (ml), <i>I-Blind</i> , Pre	.155	12	>.200	0.103	-1.354
RMSE (ap), <i>I-ap</i> , Pre	.258	12	.026	-0.962	0.570
RMSE (ml), <i>I-ml</i> , Pre	.162	12	>.200	-0.978	1.378
RMSE (ml), <i>II-ml</i> , Pre	.155	12	>.200	-0.636	-0.230
RMSE (ml), <i>II-Blind</i> , Pre	.121	12	>.200	0.307	-0.391
RMSE (ap), <i>I-Starke Federn</i> , Post	.153	12	>.200	0.510	0.096
RMSE (ml), <i>I-Starke Federn</i> , Post	.130	12	>.200	0.185	-0.555
RMSE (ap), <i>I-Standard</i> , Post	.159	12	>.200	-0.637	0.562
RMSE (ml), <i>I-Standard</i> , Post	.169	12	>.200	-0.671	-0.158
RMSE (ap), <i>I-Blind</i> , Post	.206	12	.172	0.553	-1.275
RMSE (ml), <i>I-Blind</i> , Post	.143	12	>.200	-0.243	-0.872
RMSE (ap), <i>I-ap</i> , Post	.097	12	>.200	0.228	-0.601
RMSE (ml), <i>I-ml</i> , Post	.192	12	>.200	-0.386	-1.387
RMSE (ml), <i>II-ml</i> , Post	.154	12	>.200	-0.600	0.576
RMSE (ml), <i>II-Blind</i> , Post	.202	12	.188	-0.702	-0.643

VG_{ap}

	<i>D</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	Schiefe	Kurtosis
RMSE (ap), <i>I-Starke Federn</i> , Pre	.253	12	.033	-1.437	4.037
RMSE (ml), <i>I-Starke Federn</i> , Pre	.131	12	>.200	0.346	-0.225
RMSE (ap), <i>I-Standard</i> , Pre	.163	12	>.200	0.565	-0.938
RMSE (ml), <i>I-Standard</i> , Pre	.143	12	>.200	-0.305	-0.208
RMSE (ap), <i>I-Blind</i> , Pre	.116	12	>.200	0.128	-0.221
RMSE (ml), <i>I-Blind</i> , Pre	.135	12	>.200	-0.383	-0.245
RMSE (ap), <i>I-ap</i> , Pre	.152	12	>.200	0.316	-0.036
RMSE (ml), <i>I-ml</i> , Pre	.146	12	>.200	-1.046	1.293
RMSE (ml), <i>II-ml</i> , Pre	.095	12	>.200	0.272	-0.276
RMSE (ml), <i>II-Blind</i> , Pre	.166	12	>.200	0.835	1.143
RMSE (ap), <i>I-Starke Federn</i> , Post	.117	12	>.200	-0.654	-0.118
RMSE (ml), <i>I-Starke Federn</i> , Post	.125	12	>.200	0.269	0.539
RMSE (ap), <i>I-Standard</i> , Post	.128	12	>.200	-0.044	0.657
RMSE (ml), <i>I-Standard</i> , Post	.171	12	>.200	-0.442	0.293
RMSE (ap), <i>I-Blind</i> , Post	.112	12	>.200	-0.288	-0.336
RMSE (ml), <i>I-Blind</i> , Post	.146	12	>.200	-0.467	0.369
RMSE (ap), <i>I-ap</i> , Post	.222	12	.104	-0.415	-1.742
RMSE (ml), <i>I-ml</i> , Post	.304	12	.003	-1.702	2.706
RMSE (ml), <i>II-ml</i> , Post	.179	12	>.200	0.453	1.964
RMSE (ml), <i>II-Blind</i> , Post	.104	12	>.200	-0.193	-0.564

VG_{ml}

	<i>D</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	Schiefe	Kurtosis
RMSE (ap), <i>I-Starke Federn</i> , Pre	.096	12	>.200	0.164	-0.105
RMSE (ml), <i>I-Starke Federn</i> , Pre	.168	12	>.200	0.266	-1.673
RMSE (ap), <i>I-Standard</i> , Pre	.179	12	>.200	-0.077	-1.195
RMSE (ml), <i>I-Standard</i> , Pre	.179	12	>.200	0.049	-0.391
RMSE (ap), <i>I-Blind</i> , Pre	.207	12	.166	0.716	-0.560
RMSE (ml), <i>I-Blind</i> , Pre	.203	12	.184	0.383	-0.931
RMSE (ap), <i>I-ap</i> , Pre	.172	12	>.200	-0.351	-1.169
RMSE (ml), <i>I-ml</i> , Pre	.142	12	>.200	-0.295	-0.917
RMSE (ml), <i>II-ml</i> , Pre	.151	12	>.200	-0.386	-0.929
RMSE (ml), <i>II-Blind</i> , Pre	.180	12	>.200	0.538	-0.578
RMSE (ap), <i>I-Starke Federn</i> , Post	.207	12	.163	-1.404	2.053
RMSE (ml), <i>I-Starke Federn</i> , Post	.133	12	>.200	0.597	-0.557
RMSE (ap), <i>I-Standard</i> , Post	.138	12	>.200	-0.664	0.318
RMSE (ml), <i>I-Standard</i> , Post	.177	12	>.200	-0.973	1.594
RMSE (ap), <i>I-Blind</i> , Post	.154	12	>.200	0.119	-0.927
RMSE (ml), <i>I-Blind</i> , Post	.129	12	>.200	1.049	1.238
RMSE (ap), <i>I-ap</i> , Post	.230	12	.079	-1.502	3.194
RMSE (ml), <i>I-ml</i> , Post	.105	12	>.200	-0.208	0.002
RMSE (ml), <i>II-ml</i> , Post	.163	12	>.200	0.093	-1.620
RMSE (ml), <i>II-Blind</i> , Post	.205	12	.177	0.426	0.753

KG

	<i>D</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	Schiefe	Kurtosis
RMSE (ap), <i>I-Starke Federn</i> , Pre	.169	12	>.200	-0.491	-0.308
RMSE (ml), <i>I-Starke Federn</i> , Pre	.168	12	>.200	-0.500	-1.211
RMSE (ap), <i>I-Standard</i> , Pre	.122	12	>.200	-0.522	-0.374
RMSE (ml), <i>I-Standard</i> , Pre	.176	12	>.200	-0.354	-1.453
RMSE (ap), <i>I-Blind</i> , Pre	.185	12	>.200	0.414	-1.125
RMSE (ml), <i>I-Blind</i> , Pre	.191	12	>.200	-1.166	0.861
RMSE (ap), <i>I-ap</i> , Pre	.215	12	.130	-0.565	-1.435
RMSE (ml), <i>I-ml</i> , Pre	.206	12	.170	-0.668	-0.933
RMSE (ml), <i>II-ml</i> , Pre	.191	12	>.200	-0.184	-1.598
RMSE (ml), <i>II-Blind</i> , Pre	.191	12	>.200	-1.098	0.364
RMSE (ap), <i>I-Starke Federn</i> , Post	.178	12	>.200	-0.549	-0.908
RMSE (ml), <i>I-Starke Federn</i> , Post	.192	12	>.200	-0.770	-0.296
RMSE (ap), <i>I-Standard</i> , Post	.172	12	>.200	0.639	-0.715
RMSE (ml), <i>I-Standard</i> , Post	.121	12	>.200	0.668	-0.374
RMSE (ap), <i>I-Blind</i> , Post	.220	12	.114	0.802	1.012
RMSE (ml), <i>I-Blind</i> , Post	.136	12	>.200	-0.642	0.377
RMSE (ap), <i>I-ap</i> , Post	.171	12	>.200	0.412	0.868
RMSE (ml), <i>I-ml</i> , Post	.152	12	>.200	-0.415	-1.289
RMSE (ml), <i>II-ml</i> , Post	.239	12	.056	-1.180	0.128
RMSE (ml), <i>II-Blind</i> , Post	.146	12	>.200	-0.232	-0.435

5. Eingangsfragebogen Experiment 2

Fragebogen zur Studie „Transfereffekte bei Gleichgewichtsaufgaben“

Name: _____
 Vorname: _____
 Geb.-Datum: _____
 E-mail: _____
 Handy: _____

Hauptsportart: _____
 Seit wie viel Jahren? _____
 Seit wie viel Jahren Leistungsmäßig? _____

Trainingsumfang in Stunden pro Woche: _____

Sportartspezifisch: _____
 Kraft: _____
 Ausdauer: _____
 Sonstiges: _____

Sonstige Sportarten: _____

Trainieren Sie regelmäßig auf „instabilen“ Trainingsgeräten, wie zum Beispiel einem Therapiekreisel?

- ☐ Ja
☐ Nein

Haben Sie bereits an einer Untersuchung teilgenommen, bei der Sie Gleichgewichtsaufgaben auf einem Stabilometer bewältigen mussten?

- ☐ Ja
☐ Nein

Haben Sie im letzten Jahr eine Verletzung im Bereich der unteren Extremitäten gehabt?

- ☐ Ja
 wann, welche? _____
☐ Nein

Leiden Sie an neurologischen Erkrankungen, die ihr Gleichgewicht einschränken?

- ☐ Ja
☐ Nein

Haben Sie eine nicht korrigierte Beeinträchtigung des Sehvermögens?

- ☐ Ja
☐ Nein

Dürfen Wir Sie wegen weiterer Experimente im Arbeitsbereich Bewegung und Training kontaktieren?

- ☐ Ja
☐ Nein

6. Einverständniserklärung Experiment 2

Einverständniserklärung

zur Teilnahme an der Untersuchung zum

„Transfereffekte bei Gleichgewichtsaufgaben auf einem Stabilometer in Abhängigkeit von den freigegebenen Achsen, den Federeinstellungen und Doppelaufgaben.“

Zweck der Untersuchung

Ziel der Untersuchung ist es, grundlegende Erkenntnisse darüber zu gewinnen, unter welchen Bedingungen positive Transfereffekte bei Gleichgewichtsaufgaben auftreten.

Ablauf der Studie

Die Untersuchung umfasst eine Aneignungsphase zur Gewöhnung an acht Testaufgaben, zwei Untersuchungstage (Vortest und Nachtest), an denen die acht Tests durchgeführt werden und eine Trainingsphase über 4 Wochen in der eine Stabilometeraufgabe geübt wird.

Rückwärtszählen in 3er-Schritten

In 30 s sollen, beginnend mit einer vorgegebenen dreistelligen Zahl, möglichst viele richtige 3er Schritte rückwärts gezählt werden.

Stabilometer-Tests

Bei den drei Stabilometer-Tests steht man 30 Sekunden lang, mit Händen an den Hüften und leicht gebeugten Kniegelenken auf dem Stabilometer. Die Unterstützungsfläche kann bis zu 10° in anterior-posterior (vor-zurück) und medial-lateral (links-rechts) von der Horizontalen abweichen. Die Aufgabe ist es, diese Abweichungen möglichst gering zu halten.

Die Abweichung von der Horizontalen wird mit Hilfe von zwei Potentiometern, die am Stabilometer befestigt sind erfasst. Die Tests unterscheiden sich hinsichtlich der Federn, die zur Unterstützung während der Aufgabenbewältigung dienen.

Doppeltätigkeitstest-Tests

Es werden die drei Stabilometertests gleichzeitig mit der Aufgabe Rückwärtszählen in 3er-Schritten ausgeführt. Die Priorität sollte auf dem Rückwärtszählen liegen.

Die teilnehmenden Versuchspersonen werden drei Versuchsgruppen zugeteilt, die sich anhand des Trainingsprogramms zwischen Vor- und Nachtest unterscheiden.

Untersuchungsablauf

Aneignungsphase, Vor- und Nachtest

(1)	Erläuterung Untersuchung und Versuchsablauf der Untersuchung
(2)	Lesen und Unterzeichnung der Einverständniserklärung durch die Versuchsperson
(3)	3er-Rückwärtszählen
(4)	3 Stabilometeraufgaben und 3 Doppelaufgaben in vorgegebener Reihenfolge
(5)	3er-Rückwärtszählen
(6)	Während der Aneignungsphase wird dieser Ablauf noch zweimal wiederholt.

Trainingsphase

Trainiert wird zweimal wöchentlich über 4 Wochen. Die Versuchsgruppen unterscheiden sich hinsichtlich der trainierten Aufgabe. In der Kontrollgruppe findet kein Training statt.

(a) Instruktion Training

(b) 10 x 1 min Trainingsaufgabe mit 1 min Pause.

Übungsaufgaben auf dem Stabilometer:

1. anterior-posterior freigegeben
2. medial-lateral freigegeben

Risiken

Bei einer korrekten Durchführung der Testaufgaben besteht für gesunde Versuchspersonen kein Verletzungsrisiko.

Vertraulichkeit

Alle Daten werden vertraulich behandelt.

Freiwilligkeit

Die Teilnahme an der Untersuchung ist freiwillig. Sie können ihre Zusage jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne, dass Sie Nachteile befürchten müssen, zurückziehen.

Einverständniserklärung

Ich bin über Zweck, Ablauf, mögliche Unannehmlichkeiten und Risiken der Untersuchung aufgeklärt worden.

Ich bin damit einverstanden, dass die benannten Daten mittels Potentiometern und Fragebogen erhoben werden und zu rein wissenschaftlichen Zwecken verwendet werden.

Ich habe ein Exemplar der Einverständniserklärung zum Mitnehmen erhalten.

Ich erkläre mich mit der Teilnahme an der Untersuchung „Transfereffekte bei Gleichgewichtsaufgaben auf einem Stabilometer in Abhängigkeit von den freigegebenen Achsen, den Federeinstellungen und Doppelaufgaben“ einverstanden.

Datum, Ort

Unterschrift der Versuchsperson

7. Protokollbogen für die Sekundäraufgabe *Rückwärtszählen*

VP-Nr.:		Datum:	
d mittel	NT		
Reihenfolge			
1	489	488	487
2	486	485	484
3	483	482	481
4	480	479	478
5	477	476	475
6	474	473	472
7	471	470	469
8	468	467	466
9	465	464	463
10	462	461	460
11	459	458	457
12	456	455	454
13	453	452	451
14	450	449	448
15	447	446	445
16	444	443	442
17	441	440	439
18	438	437	436
19	435	434	433
20	432	431	430
21	429	428	427
22	426	425	424
23	423	422	421
24	420	419	418
25	417	416	415
26	414	413	412
27	411	410	409
28	408	407	406
29	405	404	403
30	402	401	400
31	399	398	397
32	396	395	394
33	393	392	391
34	390	389	388
35	387	386	385
36	384	383	382
37	381	380	379
38	378	377	376
39	375	374	373
40	372	371	370
41	369	368	367
42	366	365	364
43	363	362	361
44	360	359	358
45	357	356	355
46	354	353	352
47	351	350	349

8. Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest mit Lilliefors-Schranken (Experiment 2)

VG_{ap}

	<i>D</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	Schiefe	Kurtosis
RMSE (ap), <i>S-Standard</i> , Pre	.152	12	> .200	-0,13	-0,03
RMSE (ml), <i>S-Standard</i> , Pre	.124	12	> .200	-0,18	0,84
RMSE (ap), <i>S-Starke Federn (ap)</i> , Pre	.130	12	> .200	0,71	-0,07
RMSE (ml), <i>S-Starke Federn (ap)</i> , Pre	.120	12	> .200	0,26	0,64
RMSE (ap), <i>S-Keine Federn (ml)</i> , Pre	.125	12	> .200	-0,09	-1,07
RMSE (ml), <i>S-Keine Federn (ml)</i> , Pre	.146	12	> .200	-0,49	-0,51
RMSE (ap), <i>D-Standard</i> , Pre	.210	12	.150	0,84	-0,31
RMSE (ml), <i>D-Standard</i> , Pre	.140	12	> .200	-0,08	-1,09
RMSE (ap), <i>D-Starke Federn (ap)</i> , Pre	.281	12	.009	1,00	0,25
RMSE (ml), <i>D-Starke Federn (ap)</i> , Pre	.148	12	> .200	-0,05	0,79
RMSE (ap), <i>D-Keine Federn (ml)</i> , Pre	.112	12	> .200	-0,30	-0,28
RMSE (ml), <i>D-Keine Federn (ml)</i> , Pre	.147	12	> .200	-0,81	0,05
RMSE (ap), <i>S-Standard</i> , Post	.207	12	.163	-0,69	-0,64
RMSE (ml), <i>S-Standard</i> , Post	.114	12	> .200	0,62	0,44
RMSE (ap), <i>S-Starke Federn (ap)</i> , Post	.171	12	> .200	0,08	-1,25
RMSE (ml), <i>S-Starke Federn (ap)</i> , Post	.244	12	.047	0,79	-0,25
RMSE (ap), <i>S-Keine Federn (ml)</i> , Post	.164	12	> .200	0,76	2,17
RMSE (ml), <i>S-Keine Federn (ml)</i> , Post	.217	12	.124	-0,90	-0,11
RMSE (ap), <i>D-Standard</i> , Post	.121	12	> .200	0,14	-0,72
RMSE (ml), <i>D-Standard</i> , Post	.136	12	> .200	0,52	-0,63
RMSE (ap), <i>D-Starke Federn (ap)</i> , Post	.156	12	> .200	-0,25	-0,73
RMSE (ml), <i>D-Starke Federn (ap)</i> , Post	.172	12	> .200	0,08	0,29
RMSE (ap), <i>D-Keine Federn (ml)</i> , Post	.128	12	> .200	-0,23	-0,92
RMSE (ml), <i>D-Keine Federn (ml)</i> , Post	.283	12	.009	-1,04	-0,12
Zählschritte, Baseline, Pre	.168	12	>.200	0,63	-0,30
Zählschritte, <i>D-Standard</i> , Pre	.161	12	>.200	0,24	-0,27
Zählschritte, <i>D-Starke Federn (ap)</i> , Pre	.192	12	>.200	0,48	-0,84
Zählschritte, <i>D-Keine Federn (ml)</i> , Pre	.133	12	>.200	0,12	-0,38
Zählschritte, Baseline, Post	.175	12	>.200	0,39	-1,31
Zählschritte, <i>D-Standard</i> , Post	.193	12	>.200	0,35	-1,33
Zählschritte, <i>D-Starke Federn (ap)</i> , Post	.146	12	>.200	0,16	-1,37
Zählschritte, <i>D-Keine Federn (ml)</i> , Post	.152	12	>.200	0,53	-0,21

VG_{ml}

	<i>D</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	Schiefe	Kurtosis
RMSE (ap), <i>S-Standard</i> , Pre	.128	12	>.200	-0,29	0,87
RMSE (ml), <i>S-Standard</i> , Pre	.105	12	>.200	-0,47	1,09
RMSE (ap), <i>S-Starke Federn (ap)</i> , Pre	.171	12	>.200	0,16	-0,68
RMSE (ml), <i>S-Starke Federn (ap)</i> , Pre	.176	12	>.200	0,01	-0,22
RMSE (ap), <i>S-Keine Federn (ml)</i> , Pre	.159	12	>.200	0,22	-0,72
RMSE (ml), <i>S-Keine Federn (ml)</i> , Pre	.158	12	>.200	-0,98	1,59
RMSE (ap), <i>D-Standard</i> , Pre	.154	12	>.200	-0,11	-0,42
RMSE (ml), <i>D-Standard</i> , Pre	.134	12	>.200	0,58	0,07
RMSE (ap), <i>D-Starke Federn (ap)</i> , Pre	.159	12	>.200	0,09	-1,33
RMSE (ml), <i>D-Starke Federn (ap)</i> , Pre	.209	12	.154	0,04	-0,82
RMSE (ap), <i>D-Keine Federn (ml)</i> , Pre	.179	12	>.200	-0,84	1,57
RMSE (ml), <i>D-Keine Federn (ml)</i> , Pre	.268	12	.017	-0,85	-0,52
RMSE (ap), <i>S-Standard</i> , Post	.157	12	>.200	0,65	0,93
RMSE (ml), <i>S-Standard</i> , Post	.110	12	>.200	-0,15	-0,79
RMSE (ap), <i>S-Starke Federn (ap)</i> , Post	.145	12	>.200	1,05	0,96
RMSE (ml), <i>S-Starke Federn (ap)</i> , Post	.124	12	>.200	0,12	-0,88
RMSE (ap), <i>S-Keine Federn (ml)</i> , Post	.220	12	.113	-0,93	-0,34
RMSE (ml), <i>S-Keine Federn (ml)</i> , Post	.143	12	>.200	-0,43	1,42
RMSE (ap), <i>D-Standard</i> , Post	.116	12	>.200	-0,53	-0,85
RMSE (ml), <i>D-Standard</i> , Post	.247	12	.041	-0,73	-0,48
RMSE (ap), <i>D-Starke Federn (ap)</i> , Post	.225	12	.096	0,17	-0,59
RMSE (ml), <i>D-Starke Federn (ap)</i> , Post	.206	12	.170	0,48	-1,54
RMSE (ap), <i>D-Keine Federn (ml)</i> , Post	.231	12	.076	-1,08	1,05
RMSE (ml), <i>D-Keine Federn (ml)</i> , Post	.121	12	>.200	-0,01	-0,31
Zählschritte, Baseline, Pre	.186	12	>.200	-0,18	-1,17
Zählschritte, <i>D-Standard</i> , Pre	.206	12	.169	0,93	-0,12
Zählschritte, <i>D-Starke Federn (ap)</i> , Pre	.105	12	>.200	-0,05	-0,37
Zählschritte, <i>D-Keine Federn (ml)</i> , Pre	.128	12	>.200	0,07	-1,19
Zählschritte, Baseline, Post	.188	12	>.200	0,03	-0,70
Zählschritte, <i>D-Standard</i> , Post	.099	12	>.200	-0,31	-0,43
Zählschritte, <i>D-Starke Federn (ap)</i> , Post	.116	12	>.200	0,27	-0,93
Zählschritte, <i>D-Keine Federn (ml)</i> , Post	.121	12	>.200	0,14	-0,70

KG

	<i>D</i>	<i>df</i>	<i>p</i>	Schiefe	Kurtosis
RMSE (ap), <i>S-Standard</i> , Pre	.145	12	>.200	0,53	-0,01
RMSE (ml), <i>S-Standard</i> , Pre	.110	12	>.200	0,10	-1,00
RMSE (ap), <i>S-Starke Federn (ap)</i> , Pre	.150	12	>.200	-0,13	-1,11
RMSE (ml), <i>S-Starke Federn (ap)</i> , Pre	.161	12	>.200	-0,30	-0,22
RMSE (ap), <i>S-Keine Federn (ml)</i> , Pre	.201	12	.196	-0,91	0,79
RMSE (ml), <i>S-Keine Federn (ml)</i> , Pre	.128	12	>.200	-1,03	1,79
RMSE (ap), <i>D-Standard</i> , Pre	.214	12	.137	0,05	-1,88
RMSE (ml), <i>D-Standard</i> , Pre	.143	12	>.200	0,14	-1,35
RMSE (ap), <i>D-Starke Federn (ap)</i> , Pre	.102	12	>.200	-0,34	-0,70
RMSE (ml), <i>D-Starke Federn (ap)</i> , Pre	.193	12	>.200	-0,39	-1,15
RMSE (ap), <i>D-Keine Federn (ml)</i> , Pre	.164	12	>.200	0,36	0,45
RMSE (ml), <i>D-Keine Federn (ml)</i> , Pre	.211	12	.145	-0,77	-0,42
RMSE (ap), <i>S-Standard</i> , Post	.178	12	>.200	0,26	-1,34
RMSE (ml), <i>S-Standard</i> , Post	.146	12	>.200	0,37	-1,04
RMSE (ap), <i>S-Starke Federn (ap)</i> , Post	.199	12	>.200	-0,93	0,13
RMSE (ml), <i>S-Starke Federn (ap)</i> , Post	.184	12	>.200	-0,82	0,15
RMSE (ap), <i>S-Keine Federn (ml)</i> , Post	.216	12	.129	0,38	-0,19
RMSE (ml), <i>S-Keine Federn (ml)</i> , Post	.198	12	>.200	-0,56	-0,23
RMSE (ap), <i>D-Standard</i> , Post	.139	12	>.200	0,12	-1,08
RMSE (ml), <i>D-Standard</i> , Post	.140	12	>.200	0,43	-0,94
RMSE (ap), <i>D-Starke Federn (ap)</i> , Post	.170	12	>.200	-0,74	-0,58
RMSE (ml), <i>D-Starke Federn (ap)</i> , Post	.115	12	>.200	-0,31	-0,53
RMSE (ap), <i>D-Keine Federn (ml)</i> , Post	.250	12	.037	-1,06	4,08
RMSE (ml), <i>D-Keine Federn (ml)</i> , Post	.131	12	>.200	-0,62	0,65
Zählschritte, Baseline, Pre	.257	12	.028	0,62	1,51
Zählschritte, <i>D-Standard</i> , Pre	.152	12	>.200	1,25	2,52
Zählschritte, <i>D-Starke Federn (ap)</i> , Pre	.188	12	>.200	1,06	2,34
Zählschritte, <i>D-Keine Federn (ml)</i> , Pre	.153	12	>.200	0,50	0,14
Zählschritte, Baseline, Post	.179	12	>.200	1,28	1,40
Zählschritte, <i>D-Standard</i> , Post	.250	12	.037	1,42	1,59
Zählschritte, <i>D-Starke Federn (ap)</i> , Post	.221	12	.108	1,16	1,63
Zählschritte, <i>D-Keine Federn (ml)</i> , Post	.242	12	.052	1,97	3,99