

Universität Potsdam
Institut für Sportmedizin und Prävention

Zum Zusammenhang zwischen posturaler Balance und
kognitiven bzw. somatischen Faktoren

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Humanwissenschaft (Dr. phil)
in der Wissenschaftsdisziplin Sportwissenschaft

eingereicht an der Humanwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Potsdam

von
Yuan-Shuo Chan
geboren am 01.12.1975 in Taipeh, Taiwan

Potsdam, im Juli 2006

Inhaltverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	PROBLEMSTELLUNG	1
1.2	ZIELSTELLUNG	3
2	VORBETRACHTUNG.....	4
2.1	UNTERSUCHUNGEN ZUM EINFLUSS DER SENSOMOTORIK AUF DIE GEHIRNFUNKTION .	4
2.1.1	<i>Sensomotorisches Training unter neurophysiologischem Aspekt.....</i>	4
2.1.2	<i>Sensomotorisches Training und kognitive Leistung im Kindesalter.....</i>	6
2.1.2.1	Koordinationstraining und kognitive Hirnfunktion	7
2.1.2.2	Balanceregulation und kognitive Hirnfunktion.....	7
2.1.3	<i>Sensorische Integration sowie Entwicklung der Kognition bei Kleinkindern</i>	9
2.1.3.1	Taktile, propriozeptive und vestibuläre Rezeptionen.....	9
2.1.3.2	Visuelle und akustische Rezeptionen.....	11
2.2	ZUM KONZEPT DER SENSOMOTORISCHEN REGULATION BEI POSTURALER BALANCE.	12
2.2.1	<i>Informationsübertragung bei posturaler Balance.....</i>	12
2.2.1.1	Vestibuläre Informationsübertragung	13
2.2.1.2	Propriozeptive und taktile Informationsübertragung	13
2.2.1.3	Visuelle Informationsübertragung	15
2.2.1.4	Akustische Informationsübertragung.....	16
2.2.2	<i>Integrative Informationsverarbeitung und Kontrolle der posturalen Balance.....</i>	17
2.2.2.1	Unwillkürliche Kontrolle der posturalen Balance	18
2.2.2.2	Willkürliche Kontrolle der posturalen Balance	19
2.2.3	<i>Analysen möglicher Einflussfaktoren der Balanceregulation</i>	20
2.2.3.1	Biologische Differenzierung.....	20
2.2.3.2	Frühgeborene und geringes Geburtsgewicht.....	20
2.2.3.3	Körperhaltung und körperliche Statik.....	21
2.2.3.4	Ernährung	22
2.2.3.5	Schadstoffe und Sauerstoffmangel	22
2.3	ZUR ENTWICKLUNG DER SENSOMOTORISCHEN BALANCEFÄHIGKEIT	23
2.3.1	<i>Sensomotorische Balancefähigkeit bis zum Vorschulalter</i>	23
2.3.2	<i>Sensomotorische Balancefähigkeit im Schulkindalter.....</i>	25
2.3.3	<i>Sensomotorische Balancefähigkeit im Erwachsenen- und Seniorenalter.....</i>	26
3	METHODIK.....	28
3.1	PROBANDEN	28
3.2	UNTERSUCHUNGSDESIGN	28
3.2.1	<i>Anthropometrische Messung.....</i>	29
3.2.2	<i>Somatoskopische Untersuchung von Beckenstatik bzw. Beinlängendifferenz.....</i>	30
3.2.3	<i>Posturografische Balancemessung.....</i>	32

3.2.3.1	Technische Beschreibung	32
3.2.3.2	Posturale Messdaten	33
3.2.3.3	Analyse der Stationären Epochen	34
3.2.3.4	Ablauf des Balancetests	37
3.2.3.5	Gütekriterien für die Balancetestverfahren	38
3.2.4	<i>Intelligenz-Parameter</i>	39
3.3	STATISTISCHE VERFAHREN	43
4	ERGEBNISSE	44
4.1	GESCHLECHT UND SENSOMOTORISCHE POSTURALE BALANCEFÄHIGKEIT	44
4.1.1	<i>Dreijährige Probanden</i>	44
4.1.2	<i>Sechsjährige Probanden</i>	46
4.2	ZUM ZUSAMMENHANG DER ANTHROPOMETRISCHEN PARAMETER (KÖRPERHÖHE UND FUßLÄNGE) MIT DEN BALANCEDATEN	48
4.2.1	<i>Dreijährige Jungen</i>	48
4.2.2	<i>Dreijährige Mädchen</i>	48
4.2.3	<i>Sechsjährige Jungen</i>	48
4.2.4	<i>Sechsjährige Mädchen</i>	49
4.3	STATIK UND SENSOMOTORISCHE POSTURALE BALANCEFÄHIGKEIT	50
4.3.1	<i>Beckenstatik</i>	50
4.3.2	<i>Beinlängendifferenz</i>	52
4.4	ZUM ZUSAMMENHANG ZWISCHEN SENSOMOTORISCHER POSTURALER BALANCEFÄHIGKEIT UND DER INTELLIGENZLEISTUNG	56
4.4.1	<i>Balancefähigkeit und OHP /OHN</i>	56
4.4.2	<i>Balancefähigkeit und WBP/WBN</i>	59
4.4.3	<i>Balancefähigkeit und GF/RF</i>	63
4.5	EINBEIN-BALANCETEST UND INTELLIGENZWERT VON GF/RF.....	71
5	DISKUSSION	74
5.1	ZUM ZUSAMMENHANG ZWISCHEN GESCHLECHT UND BALANCEFÄHIGKEIT	74
5.2	DISKUSSION ZUM ZUSAMMENHANG ZWISCHEN BALANCEFÄHIGKEIT UND KÖRPERHÖHE BZW. FUßLÄNGE.....	76
5.3	DISKUSSION ZUM ZUSAMMENHANG VON KÖRPERSTATIK UND SENSOMOTORISCHER POSTURALER BALANCEFÄHIGKEIT	81
5.4	DISKUSSION ZUM ZUSAMMENHANG ZWISCHEN BALANCEFÄHIGKEIT UND BIVA- INTELLIGENZPARAMETERN.....	84
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN	92
7	ZUSAMMENFASSUNG	94
8	LITERATURVERZEICHNIS	95
ANHANG		

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Die Forschung über Hirnfunktion, Bewegungsteuerung und -regulation hat in den letzten Jahrzehnten durch moderne Test- und Analysegeräte große Fortschritte gemacht. Dennoch sind Fragen wie die nach dem Zusammenhang zwischen sensomotorischen Fähigkeiten und Intelligenzentwicklung noch nicht hinreichend geklärt und weiterhin aktuell. Deshalb versuchen Wissenschaftler aus verschiedenen Disziplinen viele Fragen über Hirnfunktion und Intelligenz zu entschlüsseln.

Eine wichtige Phase der Intelligenz- und Hirnfunktionsentwicklung des Menschen liegt im Zeitraum von der Geburt bis zum Kleinkindalter. Während dieser Entwicklungsphase benötigt der menschliche Körper ausreichend sowie entsprechende Nahrung und passende Reize aus der Umwelt. Für den Kontakt mit der Umwelt sind sensomotorische Funktionen von eminenter Bedeutung. Bereits in der frühen Kindheit besteht eine enge Verbindung zwischen der sensomotorischen Entwicklung und den Funktionen des Neurosystems. SCHEID (1994) vertritt die Meinung, dass die frühkindliche Entwicklung durch einen ganzheitlichen Veränderungsprozess gekennzeichnet ist. Diese Entwicklung beruht auf einem interaktiven Zusammenwirken von biogenetischen Dispositionen und sozio-ökologischen Einflüssen. Von großer Bedeutung für Intelligenz und Lernfähigkeit ist auch die Möglichkeit, die sensorischen Informationen richtig zu integrieren und exakt weiter zu verarbeiten. Das Gehirn des Kleinkindes bietet bereits die Voraussetzungen und Fähigkeiten zum Erlernen spezifischer Dinge wie Sprechen, logisches Denken, räumliches Denken, Lesen, Schreiben und Rechnen [125].

Praktische Erfahrungen belegen, dass bei Kindern mit Intelligenzverzögerungen und Lernstörungen häufig Defizite im Bewegungsablauf auftreten. Dabei ist oft das Bewusstsein für das visuelle Feld und die Fähigkeit, auf jeder Seite des Feldes und über die Mittellinie hinweg zu arbeiten, nicht gegeben, d.h. solche Kinder sind nicht in der Lage, ohne Stress die Körperkoordination sowie die visuelle und akustische Mittellinie zusammenzubringen [82]. MCPHILLIPS et al. und KUNTZ meinen auch, dass sprach- und wahrnehmungsgestörte Kinder weniger Interaktionserfahrungen aus dem Alltagsgeschehen aufnehmen können und große Schwierigkeiten mit Balance und sensomotorischer Steuerung haben [84, 99]. Manche Studien zeigten bei Kindern mit einem Lerndefizit eine Dysfunktion der sensorischen Integrationen in der akustischen und der visuell-motorischen Koordination [68, 82].

Eine Erklärung für diesen Mechanismus ist, dass höhere mentale Funktionen auf dem unbeeinträchtigten Zusammenwirken mehrerer einzelner Prozesse basieren. Im Falle von mentalen Funktionsbeeinträchtigungen, die sich auf in Entwicklung befindende Nervensysteme auswirken, beeinflussen diese Beeinträchtigungen außerdem spezifisch das Zusammenwirken vom peripherem Nervensystem (PNS) und zentralem Nervensystem (ZNS), d.h. falls eine periphere Dysfunktion vorhanden ist, wird sie vermutlich die Kognition oder sensomotorische Funktionen beeinträchtigen [102, 133].

Eine Metaanalyse von 134 Studien zeigte einen signifikanten positiven Einfluss von körperlicher Aktivität auf kognitive Leistungen [33], wobei aber die meisten Untersuchungen mit Erwachsenen durchgeführt wurden. Inwiefern sich die körperliche Aktivität auf die kognitiven Leistungen im Kindesalter auswirkt, ist noch ein aktuelles Forschungsgebiet.

Die sensomotorische Steuerungs- und Regulationsfähigkeit ist eng mit dem Hirnreifungsprozess und der Bahnung der Nervenverbindungen verbunden. Insbesondere die posturale Balance bei Menschen besteht aus hoch komplexen sensomotorischen Funktionen. Eine stabile posturale Balance ist abhängig von integrierten Informationen, die aus somatosensorischen, visuellen und vestibulären Informationen bestehen, sowie auch von der motorischen Steuerung und Regulation [111]. Demgegenüber sind so gut wie keine konditionellen Fähigkeiten - wie Kraft, Ausdauer oder Schnelligkeit erforderlich. Balanceleistung repräsentiert damit weitgehend sensorische und neuronale Funktion.

Nach PIAGET sind intelligentes und motorisches Verhalten beim Kleinkind nicht trennbar. Die Wahrnehmungs- und Intelligenzleistungen von Kleinkindern kann man anhand ihrer Bewegungsreaktion überprüfen und feststellen [76]. Aus diesem Grund wird die statische posturale Balance als hauptsächlichster sensomotorischer Parameter in dieser Untersuchung angewendet.

Die vielfach empirisch gefundenen Aussagen über den Zusammenhang von Kognition und Bewegungssteuerung sind jedoch noch immer nicht hinreichend objektiviert und gesichert. Hier besteht noch Forschungsbedarf. Zudem hat das bisher vorhandene Wissen über diese Zusammenhänge bisher kaum zu einer Nutzung im Rahmen der pädagogischen Entwicklungsförderung von Kindern geführt. Es ist davon auszugehen, dass sowohl in der Früherkennung von Lernstörungen und von Hochbegabungen als auch in den pädagogischen Prozessen von Bildung und Erziehung hier Reserven für eine Optimierung liegen. Im

Bildungszeitalter sollten gerade solche Möglichkeiten erschlossen werden. Es ist daher lohnend, den Zusammenhang zwischen Motorik und Kognition näher zu beleuchten.

1.2 Zielstellung

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zur Beantwortung der Frage leisten, ob es einen Zusammenhang zwischen sensomotorischer und kognitiver Hirnleistung gibt.

Ein weiterer Schwerpunkt verfolgt das Ziel, die Kenntnisse über die Entwicklung der Balancefähigkeit im Verlaufe des Vorschulalters zu vertiefen. In diesem Zusammenhang müssen auch mögliche weitere Determinanten der Balancefähigkeit näher betrachtet werden, um die Effekte von Kofaktoren zu identifizieren.

Die zu bearbeitenden Fragen stellen sich damit wie folgt dar:

1. Gibt es Korrelationen zwischen Geschlecht und posturaler Balanceregulation?
2. Gibt es Korrelationen zwischen anthropometrischen Parametern wie Körperhöhe/Fußlänge und posturaler Balanceregulation
3. Beeinflusst eine Statikstörung des Stütz- und Bewegungsapparats die posturale Balanceregulation?
4. Lässt sich ein Zusammenhang zwischen posturaler Balancefähigkeit und Intelligenz nachweisen?
5. Kann man die posturalen Balancetests als ein Messinstrument für die Geistesentwicklung und das Hirnnervenreifungsniveau verwenden?

Aus den Fragestellungen ergeben sich folgende Hypothesen:

- H 1. Jungen balancieren schlechter als Mädchen.
- H 2. Körperhöhe und Fußlänge und posturale Balancefähigkeit hängen positiv zusammen.
- H 3. Statikstörungen des Stütz- und Bewegungsapparats wirken sich bei Kindern negativ auf die posturale Balancefähigkeit aus.
- H 4. Es gibt einen positiven Zusammenhang zwischen posturaler Balancefähigkeit und Intelligenz bei Kindern.
- H 5. Mit Hilfe der posturalen Balancefähigkeit kann eine Aussage über das Hirnnervenreifungsniveau und die kognitive Leistungsfähigkeit getroffen werden.

2 Vorbetrachtung

2.1 Untersuchungen zum Einfluss der Sensomotorik auf die Gehirnfunktion

2.1.1 Sensomotorisches Training unter neurophysiologischem Aspekt

Mit neu entwickelten Untersuchungsmethoden lassen sich feinste menschliche Hirnfunktionen beobachten. Die Forschungsgebiete der körperlichen Aktivität und der damit zusammenhängenden Hirnfunktionen wurden Ende der 80er Jahre stark erweitert. Das betrifft besonders die regionale Gehirndurchblutung, den regionalen Gehirnstoffwechsel und die Neurotransmission [62].

Über die *regionale Gehirndurchblutung* haben HERHOLZ et al. (1987) eine wichtige Studie vorgelegt. Sie entdeckten im Rahmen einer Untersuchung zur regionalen Gehirndurchblutung während der Fahrradergometerarbeit, dass bei Belastungen mit 25 Watt signifikante, regional unterschiedlich große Durchblutungssteigerungen (um ca. 20%) im Gehirn entstehen. Mit einer Belastungsintensität von 100 Watt wurde die mittlere Durchblutung auf ca. 30% über den Ruheausgangswert gesteigert [57]. Dadurch werden die Hirnzellen mit mehr Sauerstoff und Nährstoffen versorgt [62, 63].

Der zweite Hirnforschungsschwerpunkt ist der *Gehirnstoffwechselzustand* nach körperlicher Aktivität. Bewegungs-Neurowissenschaftler haben festgestellt, dass sich unter körperlicher Belastung auch der Gehirnstoffwechsel verändert (s. Abb.2.1). Beim Training der allgemeinen Ausdauer sowie der Koordination kommt es zu einer Steigerung der Produktion von neurotrophen Faktoren und der zugehörigen mRNA speziell im Hippokampus, im Kortex und im Zerebellum. Dies ist vor allem für Lernvermögen und Gedächtnis von Bedeutung, da besonders der Hippokampus an Lern- und Gedächtnisprozessen beteiligt ist [65, 83]. Er wird mit allen Bereichen des Gedächtnisses, z.B. dem semantischen, dem episodischen und dem räumlichen Gedächtnis, in Verbindung gebracht [83].

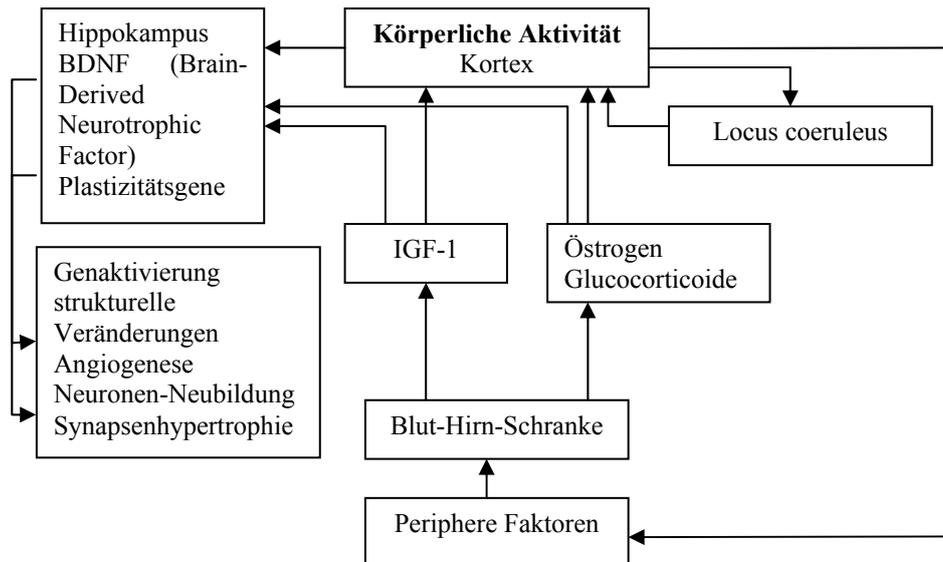


Abb. 2.1 Der Einfluss von körperlicher Aktivität auf die Gehirnplastizität (nach HOLLMANN, STRÜDER 2003, S. 266) [65]

Des Weiteren interessieren sich viele Forscher für die *Neurotransmitter* im Gehirn während körperlicher Aktivität und nach Sport. Zentrale Neurotransmitter beeinflussen verschiedene Gehirnebenen, angefangen von der sensorischen Wahrnehmung, über die neuromotorischen Verbindungen bis hin zu den motorischen Effektor-Mechanismen [100]. Seit langer Zeit ist bekannt, dass Dopamin [8, 9], Serotonin [10] und Noradrenalin [112] durch körperliche Aktivität im Gehirn freigesetzt werden. In manchen Studien wird gezeigt, dass sich die Dopaminkonzentration während einer Ausdauerbelastung im Hypothalamus, Mittelhirn, Hippokampus und Striatum erhöht [8, 9].

DISHMAN et al. (2000) beschäftigten sich mit dem Noradrenalin-Spiegel im Gehirn [27]. Bei einer Untersuchung zur Auswirkung eines Laufbandtrainings auf die Höhe des Noradrenalin-Spiegels im Hypothalamus und im limbischen System entdeckten sie, dass das Ausdauertraining den Noradrenalin-Spiegel in den medial-präoptischen, in den paraventriculären und den ventromedialen Gebieten des Hypothalamus, wie auch dem Arcuatum steigert. Sie stellten auch fest, dass Ausdauertraining gegen einen Abfall im locus coeruleus, Mandelkern und Hippokampus schützen kann.

Im Übrigen können diese Einflüsse auch für psychische und kognitive Bereiche bestehen: Die Neurotransmitter, wie z.B. Serotonin, Dopamin und Noradrenalin, verstärken die synaptische Plastizität bzw. erhöhen die Langzeitpotenzierung (LTP) [72]. Die Langzeitpotenzierung ist ein molekularer Mechanismus zur Gedächtnisspeicherung. Sie bildet die Basis von Erinnerung und Lernen [140]. HOLLMANN et al. (2005) vertreten die Auffassung, dass

aerobe dynamische körperliche Aktivität die Leistungen der Gehirnplastizität erhöhen und unmittelbare Wirkung auf Quantität und Qualität von Neuronen oder Synapsen haben [64].

Körperliche Aktivität kann sich nicht nur auf die physiologischen Funktionen im Gehirn auswirken, sondern auch die Zellstrukturen verändern. In der aktuellen Studie von DRAGANSKI et al. (2004) verwendete man die 3D-MRT (dreidimensionale Magnetresonanztomographie) als diagnostische Apparatur und voxel-based Morphometrie als Auswertetechnik. Ein Jonglage-Training diente als Interventionsmaßnahme. Die Ergebnisse zeigten, dass die Probanden nach einem 3-monatigen Jonglage-Training eine vorübergehende Ausbreitung von grauer Substanz (grey-matter) im mittleren Temporallappen (hMT/V5) und im linken posterioren intraparietalen Sulcus hatten. Es wird daraus geschlossen, dass sensomotorisches Training bzw. Lernen nicht nur die Veränderung der Hirnfunktionen, sondern auch die Veränderung der Hirnstruktur bewirkt [32].

Man kann also aus bewegungsneurologischem Aspekt heraus interpretieren, dass durch Bewegung die Funktionen und der biochemische Stoffwechsel im Gehirn aktiviert werden. So betonen HOLLMANN et al. (2005), dass sich körperliche Aktivität positiv auf die kognitiven Gehirnfunktionen in jedem Lebensalter auswirken [64].

2.1.2 Sensomotorisches Training und kognitive Leistung im Kindesalter

Das Kindesalter ist die wichtigste Prägephase des Gehirns. SPITZER (2002) und BITTMANN (2002) meinen, dass die Entwicklung des Gehirns durch körperliche Aktivität zeitlebens beeinflusst wird und damit auch dessen Funktionsweise. Hervorzuheben ist, dass die neuronale Plastizität in der Kindheit am höchsten ausgeprägt ist [15, 130]. Aus neurophysiologischer Sicht wirkt sich körperliche Aktivität positiv auf die Entwicklung des Organismus aus und beeinflusst hierdurch auch die Kognition [29, 62, 119, 126].

Manche Wissenschaftler betonen, dass die Nerven- und Hirnfunktion im Kindesalter durch körperliche Aktivität gefördert wird [14, 30, 126]. In einigen Studien zur Wirkung einer Rückenschule für Schüler des 1./2. und 5./6. Schuljahrs zeigte sich eine hoch signifikante Verbesserung der Konzentrationsfähigkeit [28]. Eine Interventionsuntersuchung von DORDEL und RITTERSHAUBEN (1997) hat nachgewiesen, dass ein motorisches Programm einen positiven Effekt auf die Schulleistungen hat und dass dieser Effekt über einen langen Zeitraum erhalten werden kann. Es wird vermutet, dass die Aktivierung der Hirnzellen und Synapsen durch körperliche Bewegung gefördert wird [31].

2.1.2.1 Koordinationstraining und kognitive Hirnfunktion

„Mit den zunehmenden sensorisch-motorischen Fähigkeiten wachsen folglich auch die Bewusstseins- und Aufmerksamkeitsvorgänge.“ (KOLB, WHISHAW 1996, S.393) [81].

Die Qualität der sensomotorischen Koordination wird von der *„Beachtung der für den betreffenden Bewegungsablauf einschlägigen physikalischen Gesetze“*, dem *„Übungsgrad der agonistisch-antagonistisch tätigen Muskeln für den betreffenden Bewegungsablauf“* und dem *„Adaptationszustand des Vestibularapparates“* bestimmt (HOLLMANN; HETTINGER 2000, S. 132) [61]. Durch Koordinationstraining lässt sich das neuromuskuläre System verbessern und die Leistung der Informationsübertragung sowie der Informationsverarbeitung steigern, d.h. die Koordination hat eine enge Verbindung mit der Leistung des ZNS. Dazu werden alle aufgenommenen Informationen durch elektrochemische Kontakte in Synapsen geleitet. Eine hohe Synapsenvernetzung beeinflusst die Qualität der Informationsübertragung. Deswegen wird die körperliche Aktivität als ein wichtiges Fördermittel zur kognitiven Entwicklung im Kindesalter betrachtet. BITTMANN (2002) betont, dass Bewegung als Reiz zu einer harmonischen beidseitigen Hirnentwicklung beiträgt und damit eine der Grundlagen für kognitive Leistungen ist [15].

In einer Untersuchung von GRAF et al. (2003) wurden der KTK (Körperkoordinationstest für Kinder), der 6-Minuten-Lauf und der DLKE (Differentieller Leistungstest für Kinder der Eingangsstufe der Grundschule) eingesetzt. Das Ergebnis zeigt einen starken signifikanten positiven Zusammenhang zwischen der gesamten Körperkoordination und der Konzentrationsleistung bei Kindern. D.h. die Kinder mit hoher Konzentrationsleistung zeigten auch bessere Körperkoordination [50].

2.1.2.2 Balanceregulation und kognitive Hirnfunktion

Von den koordinativen Beanspruchungen ist die Balanceregulation eine besonders komplizierte und komplexe sensomotorische Funktion. BONDAR (2002) und WOOLLACOTT (2000) sind der Meinung, dass die effiziente Zusammenarbeit von Muskel- und Nervensystem eine bedeutende Grundlage guter Kognition ist. Der genaue Zusammenhang von sensomotorischer Regulation und Kognition ist jedoch noch unklar [17, 157].

Bisher zeigten diverse Studien interessante Ergebnisse über die Beziehung zwischen posturaler Balance und Kognition im Kindesalter. Forscher haben herausgefunden, dass

Kinder mit guter Balancefähigkeit eine hohe Aufmerksamkeit und Konzentrationsfähigkeit sowie bessere Lernfähigkeit besitzen [51, 150]. Aus diesem Zusammenhang lässt sich fragen, ob die Balanceregulationszentrale auch für die Aufmerksamkeit und Konzentration zuständig ist oder die Informationsübertragungsfähigkeit bzw. die Nervenleitgeschwindigkeit die kognitiven Funktionen beeinflusst.

Balance wird sowohl auf spinaler Ebene als auch auf supraspinaler Ebene reguliert [7]. In der supraspinalen Ebene spielen Kleinhirn und *Formatio reticularis* eine besonders große Rolle [134]. Die *Formatio reticularis* wird auch als reticuläres Aktivierungssystem bezeichnet. Die *Formatio reticularis* verknüpft die Fasern aus dem Rückenmark und aus dem Vorderhirn im Hirnstamm [81]. Die mediale *Formatio reticularis* erhält Eingänge von allen Sinnesmodalitäten und vom Kleinhirn. Eine ihrer Funktionen ist die Kontrolle des Schlaf-Wach-Rhythmus. In der lateralen *Formatio reticularis* liegt der *locus coeruleus*. Der *Locus coeruleus* hat eine wichtige Kontrollfunktion der Aufmerksamkeitssteuerung [119]. FISCHEL (1976) stellte fest, dass Wahrnehmungen nur dann aktiv beachtet werden, wenn das Großhirn durch Erregungen aus der *Formatio reticularis* dauernd beeinflusst wird. Damit entsteht der Zustand des Wachseins [37]. Das bedeutet, dass die *Formatio reticularis* eine Regulationsinstanz für das Aktivitätsniveau des gesamten Nervensystems darstellt [28, 73, 128]. Die Aufmerksamkeit und die Konzentration auf bestimmte Wahrnehmungen sind u.a. abhängig von der Leistungsfähigkeit der *Formatio reticularis* [37].

Außerdem spielt die Informationsübertragungsfähigkeit für die Qualität der Balance eine entscheidende Rolle. Diese hängt weitgehend von der Nervenleitgeschwindigkeit ab, der Geschwindigkeit, mit der elektrischen Impulse entlang einzelner Nervenfasern und über Synapsen übertragen werden. Der Zusammenhang zwischen Nervenleitgeschwindigkeit und Intelligenz wurde seit den 80er Jahren untersucht. Intelligenzforscher haben dabei entdeckt, dass die Nervenleitgeschwindigkeit mit Intelligenz positiv korreliert, d.h. intelligente Personen wiesen eine höhere Nervenleitgeschwindigkeit auf [11, 144]. In einer Studie von REED und JENSEN (1993) zeigte die Intelligenz eine negative Korrelation mit der Reaktionszeit, d.h. Probanden mit guter Reaktionsfähigkeit hatten hohe Intelligenz. Es wurde vermutet, dass hohe Intelligenz mit einer höheren Nervenleitgeschwindigkeit kortikaler und subkortikaler Neuronen oder mit kürzeren kortikalen Verbindungen und mit kürzerer kognitiver Informationsverarbeitungszeit zusammenhängt. Außerdem kamen sie zu dem Ergebnis, dass das Nervensystem (Gehirn) intelligenter Probanden weniger Energie für eine definierte mentale Aufgabe verbraucht als das bei weniger Intelligenten der Fall ist [117].

Dies lässt sich damit erklären, dass Informationen (Impulse) über kürzere kortikale Verbindungen übertragen werden, was letztlich den Energieverbrauch des Nervensystems reduziert [56].

2.1.3 Sensorische Integration sowie Entwicklung der Kognition bei Kleinkindern

Sensorische Integration ist nicht nur für die motorische, sondern auch für die geistige Entwicklung im Kleinkindalter wichtig. Unter sensorischer Integration versteht MAJEWSKI (2004), dass das Gehirn Informationen von Rezeptoren aufnimmt, differenziert, erkennt, deutet, sortiert, hemmt und eingliedert, um eine passende Reaktion hervorzubringen [91].

Besonders im Kindesalter werden mentale und speziell kognitive Funktionen über die sensorische Integration ausgeprägt. PIAGET betont in der von ihm begründeten kognitiven Entwicklungstheorie, dass die Intelligenzentwicklung die Schlussfolgerung der aktiven Auseinandersetzung des Individuums mit seiner Umwelt ist. Das Ziel der kognitiven bzw. geistigen Entwicklung ist die Anpassung an die sensorischen Reize [124], d.h. durch Wahrnehmung und Bewegung (sensomotorische Intelligenz) sind Kinder in der Lage, sich nach und nach der Umwelt anzupassen.

2.1.3.1 Taktile, propriozeptive und vestibuläre Rezeptionen

Taktile, propriozeptive und vestibuläre Rezeptionen gehören zur Körperwahrnehmung. Unter Körperwahrnehmung ist zu verstehen, dass verschiedene sensorische Informationen über den eigenen Körper aufgenommen und verstanden werden. Hierbei handelt es sich um einen komplexen integrativen Prozess.

Der sensorische Reizempfang beginnt bereits im Mutterleib. In dieser Phase sind taktile Reize besonders wichtig. Daher entwickelt sich von den sensorischen Systemen das taktile am frühesten im Mutterleib. Nachdem dieses weitgehend funktionsfähig ist, beginnen das optische und das akustische System sich zu entwickeln [158].

Die taktil-kinästhetischen Reize können beim Säugling bis zum Kleinkindalter physiologische und kognitive Entwicklung fördern. Eine amerikanische Studie hat nachgewiesen, dass eine Massagebehandlung bzw. entsprechende taktil-kinästhetische Reize im Säuglingsalter in kurzer Zeit vermehrtes körperliches Wachstum und eine positive Persönlichkeitsentwicklung fördern [35]. In einer weiteren Arbeit von CIGALES et al. (1997) wurden 56 gesunde Säuglinge (im Alter von vier Monaten) durch drei verschiedene Reizbedingungen, wie z.B.

Massage, Spiel und ohne spezielle Stimulation beeinflusst. Die Änderungen von zwei verschiedenen Eigenschaften eines Objekts (Farbe und Bewegungsgeschwindigkeit) auf einem Bildschirm wurden als Testreiz für die visuelle Fixierung verwendet, um damit die visuelle Aufmerksamkeit zu messen. Das Ergebnis zeigte, dass nur die Säuglinge, die die Massagebehandlung bekommen hatten, Veränderungen des visuellen Reizes schnell bemerken konnten. Aus diesem Ergebnis schließen die Autoren, dass Massagen bzw. passende taktile Reize kognitive Leistungen von Säuglingen steigern können [23].

Taktil-kinästhetische Informationen spielen - neben akustischen Reizen - auch bei der Sprachentwicklung eine entscheidende Rolle. Da die Sprachentwicklung sehr eng mit den Funktionen der sensomotorischen Systeme verknüpft ist, können die verlässlichen Rückmeldungen des taktil-kinästhetischen sensorischen Systems Wirkung auf die Sprachentwicklung ausüben. Durch Saugen und Schlucken kann das Sprechsystem taktile und propriozeptive Reize empfangen, wodurch das Motorkontrollsystem des Mundbereiches trainiert werden kann. Dadurch wird die Sprechfähigkeit im Säuglingsalter gefördert [158]. KUNTZ fand, dass sprachgestörte Kinder häufig eine geschädigte taktil-kinästhetische Informationsaufnahmefähigkeit haben [84].

Zum kinästhetischen Sinnessystem zählen die propriozeptiven Analysatoren. Allerdings fällt der propriozeptive Sinn dem Menschen schwerer als der Tastsinn, da die meisten propriozeptiven Impulse in Gehirnregionen verarbeitet werden, die nicht mit unserem Bewusstsein zusammenhängen [5, 158]. Deshalb nimmt der Mensch die propriozeptiven Sinne nur bewusst wahr, wenn er seine Aufmerksamkeit speziell darauf richtet. MILZ (1999) vertritt die Meinung, dass die propriozeptiven Reize für die geistige Entwicklung von grundlegender Bedeutung sind, da sich durch die Propriozeption Körperbild und Körperschema entwickeln. Damit ist sie eine Voraussetzung für das Bilden von Selbstbewusstsein, Selbstkontrolle und Kognition [102].

Vestibuläre Rezeption basiert auf der Auseinandersetzung mit der Beschleunigungskraft. Die Funktion des Gleichgewichtssinns trägt entscheidend zur Ausprägung der Balancefähigkeit von Kindern bei sowie zu deren mentaler Entwicklung. Bei einer Studie über Nystagmus bei Kindern wurden sowohl normale Kinder als auch Kinder mit emotionalen Störungen untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass der Nystagmus von Kindern mit emotionalen Störungen ein langsames Drehtempo und eine geringere Drehdauer als bei normalen Kindern hat [109]. In dieser Studie wurde außerdem herausgefunden, dass Kinder mit einem

Aufmerksamkeitsdefizit, einer Lernstörung oder Sprachstörungen häufig vestibuläre Entwicklungsdefizite haben. Man kann vermuten, dass ein gut funktionierendes vestibuläres System Persönlichkeit und kognitive Funktionen fördert.

2.1.3.2 Visuelle und akustische Rezeptionen

Im Vergleich zur Entwicklung der Körperwahrnehmungen entwickeln sich die visuellen und akustischen Wahrnehmungen relativ spät. Für das Sammeln von Erfahrungen sind aber die visuellen und akustischen Wahrnehmungen von größter Bedeutung. Besonders die visuellen Informationen bieten unserem Gehirn den am meisten zuverlässigen Wert der Information an. Wenn eine visuelle Information mit einer anderen Art der Information in Konflikt kommt, tendiert man meistens dazu, den visuellen und nicht den anderen Arten von Informationen Glauben zu schenken [87].

Visuelle Erfahrungen sind für das Kleinkindalter sehr wichtig. Diese Erfahrungen werden das Kind sein ganzes Leben lang besonders auf der mentalen Ebene beeinflussen. Die visuellen Funktionen werden in die visuelle Fähigkeit und die räumlich-visuelle Fähigkeit unterschieden. Die Funktion des räumlichen Sehens ist besonders wichtig für die motorische Balance. Da diese raumvisuellen Verarbeitungsprozesse von hoher Komplexität und Differenziertheit sind, braucht die Entwicklung der vollkommenen Stereopsis relativ lange. Ungefähr mit dem sechsten Lebensjahr ist das Erlernen des räumlichen Sehens abgeschlossen [102].

Zur kompletten Sehfähigkeit gehört die koordinierte Augenbewegung, wobei die Augenstellung von sechs kleinen Muskeln je Auge gesteuert wird. Die entsprechende Koordination der Augenmuskeln beeinflusst auch die Lese- und Rechtschreibfähigkeit, da die Aufnahme von visueller Information eine synchronisierte Blicksteuerung erfordert. Während der Rezeption der visuellen Information ruhen die Augen für eine bestimmte Zeit. Dazu werden zwei Halbfunktionen benötigt. Die erste Funktion lässt keine unerwünschten Blicksprünge passieren. Gleichzeitig sichert die binokulare Steuerung, dass beide Augen sich nicht relativ zueinander bewegen. Die koordinierte Augenstellung ist damit eine Voraussetzung für das Erlernen der Schriftsprache [38].

In der großen Studie „Oxford Primary School Study“ beschäftigten sich TALCOTT et al. (2002) mit dem Zusammenhang zwischen dynamisch-visueller und akustischer Verarbeitung und der Lese- und Rechtschreibfähigkeit. In dieser Analyse haben sie herausgefunden, dass

akustische Informationsverarbeitung und visuomotorische Fähigkeit die Lesefähigkeit enorm beeinflussen. Andererseits besteht kein signifikanter Zusammenhang zwischen Intelligenzniveau und Lese- und Rechtschreibfähigkeit [136]. TALCOTT et al. (2002) vertreten die Ansicht, dass sich aus diesem hör- und visuomotorischen Test ein signifikantes Verhältnis zwischen der Abweichung der Lese- und Rechtschreibfähigkeit, vor allem in der orthographischen und phonologischen Verarbeitung, voraussagen lässt. Durch einen sensorischen Verarbeitungstest kann man die unterschiedliche Lese- und Rechtschreibfähigkeit prognostizieren [136].

Die akustischen Informationen sind die wichtigste Basis für die Sprachentwicklung. Im Laufe seiner Lautsprachentwicklung lernt ein Kind sowohl feinere Lautunterschiede als auch die entsprechenden Artikulationsbewegungen [71]. GATHERCOLE und BADDELEY (1993) meinen, dass Störungen im phonologischen Arbeitsgedächtnis Auswirkung auf die Sprachfähigkeit von Kindern haben. Sie halten es für sehr wahrscheinlich, dass die Behinderung bei der Speicherung von auditiven Informationen Aussprachestörungen bei Kindern auslösen [46]. Eine weitere Untersuchung führten TALLAL et al. (1985) über die sensorischen, motorischen und perzeptiven Fertigkeiten von Kindern mit Sprachentwicklungsstörungen durch. Das Ergebnis zeigte, dass die auditive Verarbeitung schnell ablaufender Stimuli am höchsten mit den rezeptiven Sprachfertigkeiten korrelierte [137].

2.2 Zum Konzept der sensomotorischen Regulation bei posturaler Balance

2.2.1 Informationsübertragung bei posturaler Balance

Die posturale Balance des Körpers reguliert die Auseinandersetzung mit der Schwerkraft. Die Informationsaufnahme im Gleichgewichtsorgan erfolgt über die vestibulären Analysatoren. Der Schwerkraftvektor wird je nach Körperausrichtung von den Rezeptoren der geradlinigen vertikalen Beschleunigung, Sakkulus und Utrikulus, gemessen [134]. Parallel dazu erhält das ZNS Informationen von den propriozeptiven, taktilen, visuellen und akustischen Analysatoren. Besonders die propriozeptiven Informationen aus den unteren Extremitäten, der Wirbelsäule und dem Halsbereich sowie die taktilen Informationen aus beiden Fußsohlen sind hierbei besonders wichtig. Jedes sensorische System hat dabei seinen individuellen Übertragungsweg.

2.2.1.1 Vestibuläre Informationsübertragung

Die wichtigsten Informationen für die Balance erhält das ZNS über das Gleichgewichtsorgan im Ohr. Die verschiedenen vestibulären Informationen laufen über den Nervus vestibularis in den primären vestibulären Kernen der Medulla oblongata zusammen und werden mit propriozeptiven Informationen in der Formatio reticularis sowie im Kleinhirn integriert [60, 128, 134]. Auf jeder Hemisphäre des Kleinhirns gibt es vier verschiedene Kerne (Nucleus vestibularis superior, Nucleus vestibularis medialis, Nucleus vestibularis lateralis und Nucleus vestibularis inferior). Diese Vestibulariskerne dienen als Schaltstellen zwischen sensorischem und effektorischem Bereich. Ihre Bedeutung lässt sich an der großen Anzahl von Verschaltungen mit Sensoren anderer Sinnessysteme sowie mit zentralnervösen Strukturen ablesen [26, 94]. Dazu erhält die Formatio reticularis Afferenzen aus allen Sinnesbereichen, aber auch aus dem Kleinhirn, dem Nucleus ruber und der Hirnrinde. Auf diese Art übt die Formatio reticularis großen Einfluss auf vegetative Funktionen aus und differenziert die spinale Motorik, indem sie Muskeltonus und Reflexerregbarkeit steuert [28].

Von den Vestibulariskernen führen die Bahnen des Tractus vestibulospinalis zu verschiedenen zentralnervösen Stellen. Einerseits verlaufen sie zum Rückenmark und damit zu den Motoneuronen. Besonders innerviert der Tractus vestibulospinalis die γ -Motoneuronen der Extensoren und der Halsmuskulatur [26]. Andererseits verlaufen diese Bahnen zum Kerngebiet des N. okulomotorius, welcher die Augenbewegung mit dem Bewegungssinn abgleicht. Außerdem zieht die Information zum Kleinhirn, einem motorischen Koordinationszentrum und zu den Vestibulariskernen der Gegenseite, wo die Informationen über die Raumlage miteinander verglichen werden können [67, 128].

Schließlich werden diese Informationen auch zum Gyrus postcentralis an die somatosensorische Rinde weitergeleitet, damit sich der Mensch der Körperlage bewusst ist, in der er sich befindet [67, 128].

2.2.1.2 Propriozeptive und taktile Informationsübertragung

Die propriozeptiven Informationen aus den Gelenkrezeptoren (Ruffini-Körperchen und Pacini-artige Körperchen) und den Muskel- und Sehnenrezeptoren (Golgi-Sehnenorgane und Muskelspindeln) der unteren Extremitäten, der Wirbelsäule und des Halses sind für Balance sehr wichtig [26, 81]. Die propriozeptiven Informationen ziehen durch Ib-Fasern (afferente Impulse von Sehnenorgan), Ia-Fasern (afferente Impulse von Muskelspindeln) und II -Fasern (afferente Impulse von Gelenkrezeptoren) über die medialen dicken ($>6\mu\text{m}$)

Hinterwurzelfasern zum Rückenmark und laufen in der Hinterstrangbahn zu den supraspinalen Zentren [26, 96, 134]. Im Rückenmark laufen vor allem die propriozeptiven Informationen aus Kernsackfasern (Sensor der Muskelspindeln) durch sehr schnellleitende afferente Ia-Fasern zu den großen α -Motoneuronen des Vorderhorns. Diese Spindeln mit Kernsackfasern sind für die Steuerung der phasischen Muskelleistungen verantwortlich. Die propriozeptiven Informationen aus den Kernkettenfasern (andere Sensoren der Muskelspindeln) laufen über langsam leitende II a-Fasern zu den kleineren α -Motoneuronen des Vorderhorns. Solche Spindeln sind zuständig für die Steuerung der tonischen Muskeln [43].

Die propriozeptiven Informationen aus der unteren Extremität und dem Rumpf werden durch die Hinterstrangbahn bzw. Gracilis Strangbahn transportiert, in den Hinterstrangkernen der Medulla oblongata umgeschaltet und vom medial gelegenen Nucleus gracilis empfangen. Die meisten Hinterstrangfasern sind afferente Fasern der Gruppe I, II und III. Die propriozeptiven Informationen aus der oberen Körperhälfte verlaufen durch die Hinterstrangbahn bzw. Cuneatus Strangbahn. Auch sie werden in den Hinterstrangkernen der Medulla oblongata umgeschaltet und vom lateralen Nucleus cuneatus empfangen. Diese Informationen verlaufen weiter von dort teils ungekreuzt zum Kleinhirn, teils gekreuzt auf die andere Seite über den Thalamus zum somatosensorischen Kortex [26, 96, 134].

Das taktile Informationssystem nimmt durch seine engen Bezüge zum vestibulären System und zum propriozeptiven System eine Sonderposition ein. Es kann sowohl zum äußeren als auch zum inneren Regelkreis gerechnet werden [66]. Die taktilen Informationen werden durch die Hinterstrangbahn zum Hirnstamm gesendet und weiter durch den Lemniscus medialis zum Thalamus übertragen. Diese Informationen werden im Thalamus überprüft und dann zum Kortex übermittelt [73].

Die Funktionsfelder des somatosensorischen Kortex werden derzeit nach und nach näher erforscht. Die primäre somatosensorische Hirnrinde wird in die vier Brodmann-Felder 1, 2, 3a und 3b unterteilt (s. Abb. 2.2). Jedes Feld der primären somatosensorischen Rinde repräsentiert verschiedene Merkmale der taktilen und propriozeptiven Informationen. Propriozeptive Informationen aus Muskelspindeln werden in das Areal 3a projiziert und propriozeptive Informationen aus Gelenken im Areal 2 empfangen [55, 107, 116]. Die taktilen Informationen aus der Haut ziehen in das Areal 3b. Die Areale 3a und 3b sind elementare Informationsverarbeitungsbereiche. Die weitere Informationsverarbeitung der taktilen

Informationen erfolgt im Areal 1 und wird im Areal 2 mit propriozeptiven Informationen kombiniert [73]. AYRES (1998) vertritt die Meinung, dass viele taktile Informationen niemals zum Bewusstseinszentrum in der Hirnrinde gelangen. Stattdessen werden sie auf niedrigeren Hirnniveaus benutzt, um eine zweckmäßige Bewegung zu gewährleisten. Diese Informationen werden in der Formatio reticularis aufeinander abgestimmt [5].

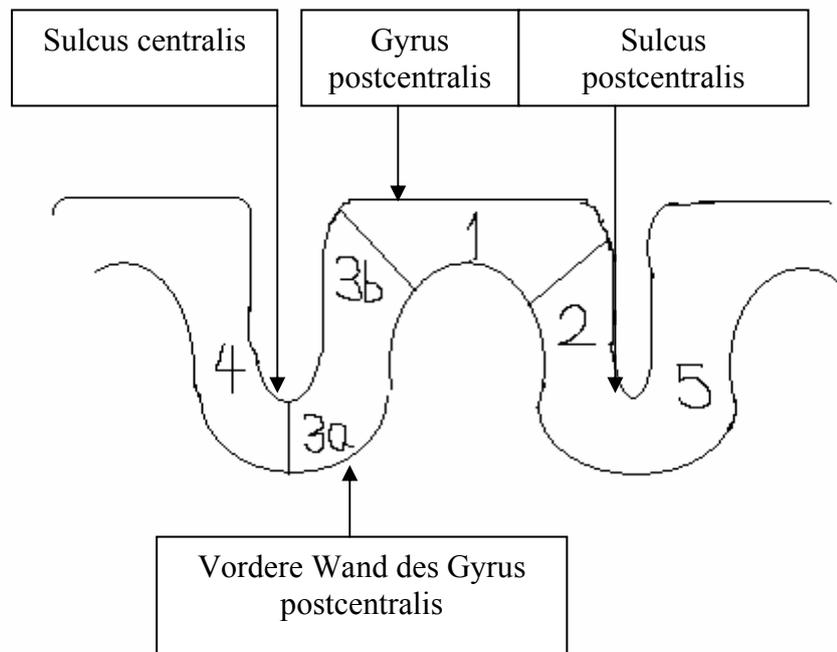


Abb. 2.2 Die Funktionsfelder des somatosensorischen Kortex für die Verarbeitung der propriozeptiven und taktilen Informationen

2.2.1.3 Visuelle Informationsübertragung

Das visuelle Informationssystem spielt für die Gleichgewichtsfähigkeit eine entscheidende Rolle. Diese Informationen bieten unserem Gehirn die zuverlässigsten Auskünfte an [87]. Ohne visuelle Kontrolle können erhebliche Schwierigkeiten in der motorischen Steuerung auftreten. Außerdem wird die Balanceregulation von der Qualität der optischen Informationen direkt beeinflusst.

Die Fasern der Sehnervs (Nervus opticus) ordnen sich im Chiasma opticum um (s. Abb. 2.3). Dort kreuzen die Fasern der nasalen Retinahälfte der beiden Augen zur gegenüberliegenden Seite der Hemisphären. Im Gegensatz dazu kreuzen die Axone der Ganglienzellen der temporalen Retinahälfte nicht. Nach der Sehkreuzung verlaufen die Axone der Ganglienzellen über den Tractus opticus zum Corpus geniculatum laterale im Thalamus. Von dort erfolgt die

Verbindung mit dem primären visuellen Kortex (Areal 17 nach Brodman). D.h. die visuellen Informationen aus der rechten Gesichtsfeldhälfte beider Augen (visuelle Information aus temporalen Retinahälfte des rechten Auges und aus nasalen Retinahälfte des linken Auges) ziehen durch den rechten Tractus opticus über die Kerngebiete des rechten Corpus geniculatum laterale des Thalamus zum rechten primären visuellen Kortex. Die Übertragung der linken Gesichtsfeldhälfte erfolgt analog umgekehrt [14, 73, 110, 140].

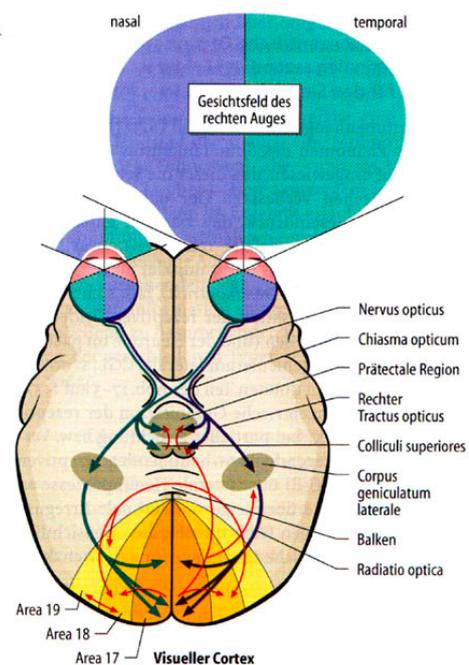


Abb. 2.3 visuelle Informationsübertragungsweg
(<http://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg>)

2.2.1.4 Akustische Informationsübertragung

Das akustische Übertragungssystem ist komplizierter als das visuelle oder das somatosensorische. Die akustischen Informationen werden zuerst zum Nucleus cochlearis übertragen. Von dort werden sie auf die gegenüberliegende Seite und über den Colliculus inferior im Dach des Mittelhirns zum Corpus geniculatum mediale des Thalamus und zum auditiven Kortex übermittelt [140]. Eine - neben dem Hören - andere wichtige akustische Funktion ist die akustische Raumorientierung. Diese Funktion benötigt beide Ohren, um die Richtung einer Schallquelle zu finden. Durch die Zeit- und Intensitätsunterschiede des Hörens mit beiden Ohren wird die Schallquelle detektiert. Die Entfernung der Schallquelle wird durch die Klangfärbung bestimmt.

2.2.2 Integrative Informationsverarbeitung und Kontrolle der posturalen Balance

Sensomotorik basiert auf der Integration der peripheren und zentralen Informationen auf spinaler und supraspinaler Ebene. Parallel dazu erfolgt eine Filterung der afferenten Information zugunsten der Regelung der aktuell ablaufenden Bewegung [60]. Der Thalamus ist Informationsschaltzentrale für alle sensorischen Bahnen zum Kortex, mit Ausnahme der

gustatorischen Signale. Die Relaiskerne im Thalamus erfüllen die Aufgabe, Informationen zu verarbeiten und diese zu bestimmten primären sensorischen Gebieten des Kortex zu projizieren [73].

Diese integrative Verarbeitung vollzieht sich in verschiedenen Teilen des ZNS. Für die Ausführung einfacher Muskeldehnungsreflexe und Körperhaltungsmuster ist das Rückenmark zuständig. Die *Formatio reticularis* sorgt für eine den Bedürfnissen der Zielmotorik angepasste Stützmotorik [151]. Mit sensorischen Informationen wird jede Kontrollinstanz versorgt und jede Instanz muss sich mit den afferenten Informationen beschäftigen [73]. Besonders wenn der Hirnstamm die taktilen, optischen und akustischen Informationen nicht in geeigneter Weise verarbeitet hat, kann die Hirnrinde keine präzise Wahrnehmung realisieren [5]. Dabei können sich die höheren Zentren darauf beschränken, Befehle allgemeiner Art zu erteilen, ohne all die Einzelheiten der sensomotorischen Handlung ausmachen zu müssen. Gleichzeitig wird durch die parallele Organisation der sensomotorischen Systeme zu den höheren Zentren die Arbeitsweise der spinalen Schaltkreise abgeglichen [73, 110].

HOTZ und WEINECK (1988) sind der Meinung, dass sich Bewegungssteuerung, -regelung und -kontrolle allgemein durch das Rückkopplungs-Prinzip erklären lassen. Danach werden alle sensiblen Informationen rückgemeldet und für nachfolgende Vorgänge ausgewertet und analysiert. Dieses Rückkopplungssystem unterliegt den Gesetzmäßigkeiten der biologischen Kybernetik. Ihre Funktionen sind die Afferenzsynthese, die Programmierung des Bewegungsablaufes und die Vorhersage der Zwischen- und Endergebnisse, die Speicherung von Ausführungs- und Korrekturmustern, die Realisierung der Steuerung und Regelung sowie der Sollwert-Istwert-Vergleich [66, 101].

In vielen Studien ist nachgewiesen worden, dass die Funktionen der sensomotorischen Regulation beim jungen Menschen stark vom Reifungsgrad des Nervensystems und damit vom Alter abhängen. Mit zunehmendem Alter (vom Kleinkindalter bis zur Pubertät) wird die Zeit der Information integrativer Verarbeitung verkürzt [53, 149]. Die motorische Regulationsfähigkeit ist damit ein aussagefähiger Parameter: Sie gibt Auskunft über die Funktionen und Fähigkeiten des ZNS.

2.2.2.1 Unwillkürliche Kontrolle der posturalen Balance

Die muskuläre Zusammenarbeit von Bein- und Rumpfbereich erfolgt im Rahmen der posturalen Balance reflektorisch, wobei die Reflexe sowohl im Rückenmark (short-loop) als auch in der Hirnstammstruktur (long-loop) ausgelöst werden. Die long-loop-Reflexe schließen eine komplexe Verschaltung im ZNS bis zur supraspinalen Ebene ein. Als Integrations- und Kontrollezentrale der posturalen Balance fungieren dabei die motorischen Zentren des Hirnstammes [14, 26, 128]. Die entsprechenden sensorischen Informationen, besonders aus dem Gleichgewichtsorgan und dem Halsbereich, werden im Hirnstamm integriert und verarbeitet. D.h. die Vestibularisafferenzen integrieren auf die Kerngebiete der *Formatio reticularis*, in denen sie mit den somatosensorischen Informationen aus dem Nackenbereich abgestimmt werden [14, 26]. Das Kleinhirn ist an der unwillkürlichen Reflexbewegung und Blickmotorik beteiligt. Das mediane Kleinhirn übernimmt und verarbeitet die Afferenz-Informationen aus dem Vestibularsystem, dem Rückenmark und dem assoziativen Kortex. Seine efferenten Signale laufen weiter zu den motorischen Zentren des Hirnstammes [128]. Dann aktivieren die ausgehenden Efferenzen vom Hirnstamm via Motorcortex parallel die α - und die γ -Motoneurone. Diese α - γ -Kopplung ist eine wichtige Basis für das harmonische Zusammenspiel der beiden sich ergänzenden Systeme [155].

Die unwillkürliche Kontrolle der posturalen Balance lässt sich in Haltereфлекse und Stellreflexe unterscheiden. *„Durch die Halte- und Stellreflexe wird die Einnahme der Grundstellung und die Annahme und das Aufrechterhalten einer bestimmten Haltung gewährleistet (BIRBAUMER, SCHMIDT 1991, S.296) [14].“* Haltereфлекse werden in der *Medulla oblongata* und in der *Pons* gesteuert und dienen der Tonusverteilung der Muskulatur bzw. die Meldungen der Haltereфлекse führen zu sinnvollen Korrekturen der Tonusverteilung der Körpermuskulatur. Stellreflexe werden im *Tegmentum* des Mittelhirns reguliert. Ihre Funktionen richten den Körper in der Normalstellung gegen die Schwerkraft auf, d.h. durch die Stellreflexe wird die Körperbalance unbewusst aufrechterhalten. Die Stellreflexe benötigen die vestibulären Informationen, um die normale Körperstellung aufzurichten [14, 113].

2.2.2.2 Willkürliche Kontrolle der posturalen Balance

In die willkürliche Integration und Kontrolle ist die motorische Hirnrinde als das höchste sensomotorische Regulationszentrum (s. Abb. 2.4) integriert. Die vestibulären Kerne projizieren die Informationen über den *Thalamus* zum parietalen Kortex sowie zu den

Brodmann-Feldern 2 und 7 [134]. STOLL et al. (2004) vermuten, dass die kortikalen Projektionen wahrscheinlich in der oberen Temporalwindung und im Frontallappen enden [134].

Die bewusste Kontrolle wird vom Kortex über die Pyramidenbahn und - in Interaktion mit den Basalganglien - über das extrapyramidale System zur Muskulatur übertragen. Diese Art der posturalen Regulation wird vor allem unter bestimmten Bedingungen für die Aufrechterhaltung des Körpers benötigt, die eine bewusste Kontrolle erfordern, wie z.B. auf einem Bein oder auf Zehenspitzen zu stehen oder das Ausführen von Akrobatikbewegung [79].

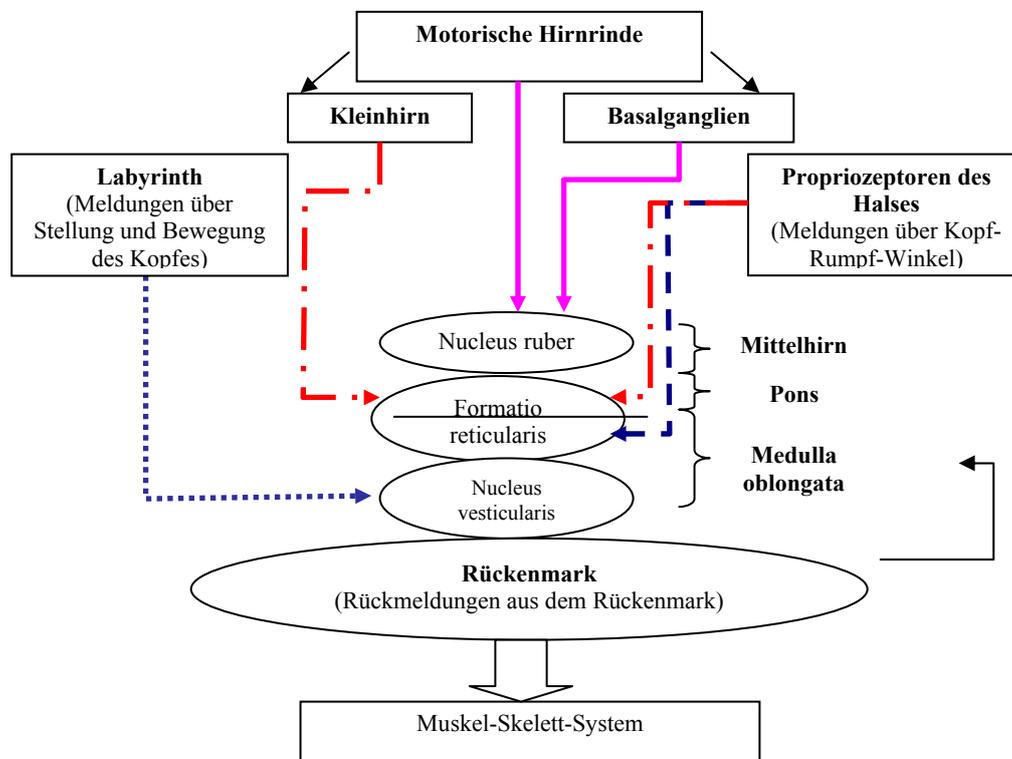


Abb. 2.4 Regulationszentren und Bahnen für Stützmotorik (nach SILBERNAGL, DESPOPOULOS 1991, S. 285) [128]

2.2.3 Analysen möglicher Einflussfaktoren der Balanceregulation

Mögliche Einflussfaktoren der Balancefähigkeit haben eine enge Beziehung zu den Einflussfaktoren der Bewegungsregelung und -steuerung. Eine funktionelle sensorische Aufnahme, die Fähigkeit zur Informationsübertragung, eine effektive Informationsverarbeitung und ein intaktes neuromuskuläres System sind die Grundlagen für die Balanceregulation. Vor allem die Nervenvernetzung spielt eine große Rolle bei der

Informationsübertragung. Wenn ein Teil dieser posturalen Balanceregulationskette gestört wird, kann dies die gesamte Balancefähigkeit beeinträchtigen.

Zu möglichen Einflussfaktoren der Balancefähigkeit gehören die biologische Differenzierung, Beeinträchtigungen der Hirnreifung (z.B. bei Frühgeburt), geringes Geburtsgewicht, biomechanische Körperstatik, Ernährung und Schadstoffe.

2.2.3.1 Biologische Differenzierung

Körperliches Wachstum, Geschlecht und Alter sind wichtige Merkmale der biologischen Differenzierung. Physische und psychische Veränderungen im Kleinkindalter vollziehen sich sehr schnell aber individuell, besonders das Nervensystem betreffend. Wachstum und Entwicklung werden von endogenen und exogenen Faktoren beeinflusst. An den individuellen Wachstumskurven lässt sich das biologische Alter (biologische Reife) zeigen [54].

Der Wachstumsprozess von ZNS und PNS steht in den ersten Lebensjahren im Vordergrund. Daher entspricht die Zellstruktur des Kortex bereits mit etwa 7 Jahren der eines Erwachsenen. Die Medulla oblongata ist bereits bei der Geburt funktionell weitgehend ausgereift. Das Kleinhirn als motorisches Gleichgewichtszentrum entspricht im Alter von ca. 2 Jahren relativ dem Gewicht und der Größe eines Erwachsenen.

2.2.3.2 Frühgeborene und geringes Geburtsgewicht

Motorische Fähigkeiten und Fertigkeiten von frühgeborenen Kindern und von sehr untergewichtig geborenen Kindern sind oft auffällig. Im frühen Kindesalter steht die neuromuskuläre Funktion in einer besonders engen Beziehung mit dem Hirnreifungsniveau und dem sich entwickelnden Nervensystem. Es lässt sich vermuten, dass ein Zusammenhang zwischen Frühgeburt und einer verzögerten motorischen Entwicklung besteht. Diese Verzögerung kann möglicherweise bis zum Kindesalter anhalten. ZELLNER und KROMEYER-HAUSCHILD (2000) vertreten die Ansicht, dass sehr untergewichtig geborene Kinder im Durchschnitt bis zum Vorschul- und frühen Schulalter ihren Rückstand in der somatischen Entwicklung nicht aufgeholt haben können [161]. D.h. sehr untergewichtig geborene Kinder haben mehr Probleme mit den sensomotorischen Fähigkeiten als normalgewichtig geborene Kinder im frühen Kindesalter. Auch KELLER et al. (1998) weisen darauf hin, dass Kinder mit geringem Geburtsgewicht eine reduzierte motorische Leistungsfähigkeit haben. Sie vermuten, dass die Reifungsprozesse, Gehirnentwicklung,

Nervenleitungsgeschwindigkeit, muskuläre metabolische Kapazität sowie psychosozial bedingte Faktoren die motorische Entwicklung beeinflussen [74].

2.2.3.3 Körperhaltung und körperliche Statik

Unter körperlichem Gleichgewicht kann man allgemein verstehen, dass ein Körper so lange gleichgewichtig bleibt, wie sich die senkrechte Projektion seines Körperschwerpunktes im Bereich der Standfläche des Körpers befindet. Dazu müssen die muskulären Agonisten und Antagonisten harmonisch zusammenarbeiten. Da der menschliche Körper sich im aufrechten Stand nie in vollständigem Ruhezustand befindet, muss das sensomotorische System ständig kontrollieren, wo sich der Körperschwerpunkt bezüglich seiner Standfläche gerade befindet und dessen Lage bei Auslenkungen aus dem Äquilibrium korrigiert.

Körperliche Statik hat einen engen Bezug zum propriozeptiven System. Der Beckenring besteht aus den zwei Ossa coxae sowie dem Os sacrum. Ventral verbindet die Symphyse im Sinne einer Synchondrose die beiden Hüftbeine, während dorsal die Iliosakralgelenke für eine gleichermaßen stabile wie hinreichend mobile Verbindung mit dem Kreuzbein und damit mit der Wirbelsäule sorgen. In den Iliosakralgelenken werden die Kräfte des Rumpfgewichts auf den Beckenring übertragen. Im Rahmen der Manuellen Medizin werden häufig - auch im Kindesalter - Torsionen innerhalb des Beckenrings beobachtet, was zu Ungleichgewichten der Belastung des Beckenbereichs führt. Die damit verbundenen propriozeptiven und nozizeptiven Irritationen werden als mögliche (störende) Einflussfaktoren auf die Balanceregulation angenommen [43].

Wenn die propriozeptiven Analysatoren auf Grund von Störungen des arthromuskulären Gleichgewichts zusätzliche Informationen zum ZNS schicken, müssen diese zusätzlich zu den Berechnungen für die posturale Regulation verarbeitet werden. Die Kapazität für die posturale Kontrolle wird erhöht beansprucht. So könnte es z.B. zu abweichender muskulärer Ansteuerung oder Zeitsteuerung in der posturalen Regelung kommen. Muskelhypertonie und -hypotonie könnten mögliche Folgen sein [24]. Vor allem ist anzunehmen, dass die massigen sensorischen Informationen, welche aus der Fehlkörperstatik resultieren, die sensomotorische Balanceregulation verlangsamt und damit weniger ökonomisch macht.

2.2.3.4 Ernährung

Die Ernährung hat direkten Einfluss auf die Funktionen des Nervensystems und die Neurotransmitter. Vor allem Mangelernährung stellt einen wichtigen Einflussfaktor bei

Kindern dar. Mangelnde Ernährung fördert eine Verzögerung in der sensomotorischen Entwicklung. Beispielsweise: Fett-, Eiweiß-, Spurenelemente- und Vitaminmangel kann im Säuglings- und Kindesalter zu körperlichen und geistigen Entwicklungsstörungen führen [13]. Es muss erwähnt werden, dass Mangelernährung nicht unbedingt mit Armut zusammenhängt. Ein Mangel an bestimmten Nährstoffen kommt vielmehr häufig bei einseitiger Ernährung vor und ist deshalb auch in den entwickelten Ländern anzutreffen.

Eine italienische Studie hat gezeigt, dass Schulkinder mit Jodmangel eine signifikant schlechtere visuelle Integrationsfähigkeit und neuromuskuläre Steuerungsfähigkeit als Schulkinder ohne Jodmangel haben [143]. Man kann daher annehmen, dass Mineralienmangel eine Ursache für eingeschränkte sensomotorische Funktionen sein kann.

2.2.3.5 Schadstoffe und Sauerstoffmangel

Seit langer Zeit ist bekannt, dass Schwermetalle und andere Toxine dem Nervensystem schaden. Besonders der Organismus von Säuglingen und Kleinkindern reagiert empfindlich auf manche Schadstoffe. Außerdem kann in der Schwangerschaft durch Einflüsse von Drogen, Nikotin, Stress, Alkohol und Medikamenten im Mutterleib bei Kindern ein Entwicklungsdefizit verursacht werden. BHATTACHARYA et al. (1995) haben die Auswirkungen einer frühen Bleiexposition im Kindesalter untersucht. Die Untersuchung wurde bei 162 sechsjährigen Kindern durchgeführt. Sie haben entdeckt, dass eine negative Korrelation zwischen erhöhter Blutbleikonzentration und Defiziten der posturalen Balancefähigkeit besteht. Bleistoffe und andere Nervengifte können demnach die Funktion von vestibulären und propriozeptiven Systemen beeinträchtigen [12].

Sauerstoffmangel während der Geburt ist die häufigste Ursache für eine frühkindliche Hirnschädigung. Diese kann zu cerebral bedingten Bewegungsstörungen führen, vor allem zu Störungen des Muskeltonus, der posturalen Balanceregulation und der räumlich-zeitlichen Koordination [28].

2.3 Zur Entwicklung der sensomotorischen Balancefähigkeit

2.3.1 Sensomotorische Balancefähigkeit bis zum Vorschulalter

Die motorischen Charakteristiken eines Neugeborenen zeigen, dass sie unter der Dominanz subkortikaler Kerne stehen, die früher als die Hirnrinde reifen. Die Motorik des

Neugeborenen und Säuglings wird deshalb durch dieses primäre Modell charakterisiert. Mit zunehmender Hirnreifung werden diese primären motorischen Muster gehemmt. Die Entwicklung vollzieht sich dabei in kraniokaudaler Richtung [39].

Nach WINTER (1987) wird die Phase bis zum Vorschulalter in die Abschnitte Neugeborenenalter, Säuglingsalter, Kleinkindalter und Vorschulalter eingeteilt. In der Neugeborenenphase (erster bis dritter Lebensmonat) werden die ungerichteten Massenbewegungen durch einen hohen Muskeltonus erzeugt. Die Steuerung der ungerichteten Massenbewegungen erfolgt über die subkortikalen Zentren. Ab dem Säuglingsalter (vierter bis zwölfter Lebensmonat) beginnt die Aneignung erster koordinierter Bewegungen. Säuglinge können dann einfache und fundamentale Bewegungen des Greifens, der Körperaufrichtung und der aufrechten Fortbewegung steuern. Die Entwicklung der Balancefähigkeit im Säuglingsalter ist nicht nur abhängig von der Wechselwirkung zwischen Reifung und Wachstum der biologischen Determinanten, sondern wird auch stark von der Umwelt beeinflusst [154].

Die Balanceentwicklung von Säuglingen wurde von WOOLLACOTT und SVEISTRUP (1992) untersucht. Diese Studie beschäftigt sich mit der Veränderung der Balancefähigkeit im Säuglingsalter (siebter bis 15. Lebensmonat) während des Übergangs zu einer unabhängigen Haltung. Bei der Entwicklung der Balance im frühen Kindesalter wurden mehrere Fähigkeiten unterschieden: die Fähigkeit des Ziehens in den Stand, die Fähigkeit der unabhängigen Haltung und die Fähigkeit des selbständigen Gehens. Bei dieser Untersuchung zeigten die Säuglinge zu Anfang in der motorischen Phase „Ziehen in den Stand“ eine unkoordinierte Reaktion der posturalen Muskulatur. Die zunehmenden Erfahrungen führten in der abhängigen Standphase aber zu einer besseren Organisationsfähigkeit der motorischen Reaktion. Außerdem konnten die Kleinkinder durch die steigende Erfahrung alternative Strategien entwickeln, um die Balance aufrechtzuerhalten [156].

Das Alter zwischen dem ersten und dritten Lebensjahr wird als Kleinkindalter bezeichnet. In dieser Phase werden vielfältige Bewegungsformen, besonders die körperliche Balance, erworben [154].

Im Vorschulalter (viertes bis siebtes Lebensjahr) sind die Kinder schon in der Lage, vielfältige Bewegungsformen zu vervollkommen und zu kombinieren [154]. HIRTZ et al. (2000) vertreten die Ansicht, dass sich die Balancefähigkeit im ersten Lebensjahr hauptsächlich auf sehr differenzierte Koordinationsprozesse bei der Stabilisierung des

Körpers während des Aufrichtens bezieht. Dafür müssen die Muskelaktivitäten posturaler Synergien reflektorisch entwickelt werden [59].

In einer Studie wurden insgesamt 82 gesunde Kinder im Alter zwischen drei und sechs Jahren von FOUURIAT et al. (1993) über den Einfluss der sensorischen Entwicklung auf die posturale Stabilität während der frühen Entwicklungsphase untersucht. Als Testapparatur benutzten sie die klinische Posturografie. Die Kinder wurden im Stand in drei unterschiedlichen visuellen Situationen getestet (s. Abb. 2.5):

1. Das Kind steht auf einer Plattform mit geöffneten Augen.
2. Das Kind steht auf der Plattform mit geschlossenen Augen.
3. Das Kind steht mit geöffneten Augen und das visuelle Input wurde vom eigenen Körperschwankungsbezug beeinflusst (sway-referenced visual surround).

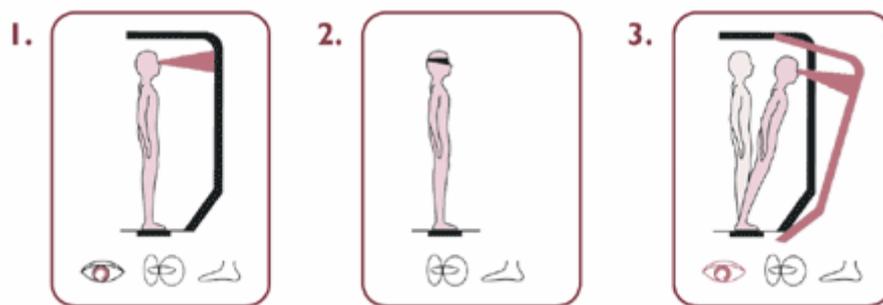


Abb. 2.5 Drei sensorische Situationen für posturale Balancetests
(<http://www.onbalance.com/program/role/cdp/protocols.aspx>)

Die Studie zeigte, dass im dritten Lebensjahr die somatosensorisch-vestibuläre Informationsverarbeitung eine größere Rolle spielt als die überwiegend visuell-vestibuläre Kontrolle bei der Balancesteuerung. Es zeigte sich auch, dass die sensomotorische Entwicklung der Balanceregulation im Vorschulalter noch nicht komplett abgeschlossen wird. Die Steigerungskinetik der Balancefähigkeit zwischen dem vierten und fünften Lebensjahr weist auf eine nichtlineare Progression bei der Entwicklung der posturalen Balance hin [42].

Französische Wissenschaftler haben die Entwicklung der posturalen Balanceregulation während des Gehens bei Kindern zwischen zweitem und siebtem Lebensjahr beobachtet. Anhand ihrer Studie haben sie entdeckt, dass die Veränderung der Bodenreaktionskraft unterhalb beider Fußsohlen durch die Gewichtsverlagerung auf das Standbein und die Geschwindigkeit beim Gehen als weitere wichtige Parameter für die posturale Balanceentwicklung charakterisiert werden können. Aufgrund dieses Parameters konnte als

ein Ergebnis festgestellt werden, dass Kinder vor dem sechsten Lebensjahr noch nicht in der Lage sind, die posturale Balance beim Gehen oder Laufen perfekt zu steuern [21].

Eine ähnliche Studie von SHUMWAY-COOK und WOOLLACOTT (1985) untersuchte die Entwicklung der Balanceleistungen in drei verschiedenen Altersgruppen: 15-31 Monate, 4-6 Jahre und 7-10 Jahre. Auch sie fanden heraus, dass die posturale Balanceregulation vor dem sechsten Lebensjahr noch nicht komplett entwickelt ist. Dazu zeigt die Übergangsphase des neuromuskulären Reaktionsmodells, dass die posturale Regulationsfähigkeit sich bei höchster Dynamik im Alter von vier bis sechs Jahren nicht gleichmäßig entwickelt. Ab dem siebten Lebensjahr weisen die Kinder eine komplette Balanceregulation auf, die mit der Erwachsener vergleichbar ist. Deshalb vermuten sie, dass die Phase zwischen dem vierten und sechsten Lebensjahr eine sehr wichtige Übergangsperiode in der Entwicklung der posturalen Balanceregulation ist [127].

Aus diesem Grund ist die Förderung der Balancefähigkeit im Kleinkind- und Vorschulalter sehr wichtig. Die Entwicklungsfortschritte in den Bereichen Sensorik, Kognition, Sprache und Verhalten bieten in diesem Alter eine wichtige Grundlage für ein zielgerichtetes Balancelernen [59].

2.3.2 Sensomotorische Balancefähigkeit im Schulkindalter

Mit der Einschulung beginnt eine neue Lebensphase. Dieser Altersabschnitt reicht vom Schuleintritt bis zur Pubertät. Die Entwicklungsabschnitte werden nach WINTER (1987) in ein frühes Schulkindalter (siebtes bis zehntes Lebensjahr) und in ein spätes Schulkindalter (Mädchen 10./11.-11./12. Lebensjahr; Jungen 10./11.-12./13. Lebensjahr) unterschieden [154].

Zur Entwicklung der posturalen Balance im Kindesalter wurde eine große japanische Studie durchgeführt. Als Probanden standen 1188 Kinder (576 Jungen und 612 Mädchen) zwischen 3 und 11 Jahren zur Verfügung. Die Ergebnisse zeigten, dass die posturale Schwankungsfläche mit zunehmendem Alter reduziert wird und diese negative Korrelation unabhängig vom Geschlecht ist. Vor allem entdeckten sie, dass der posturale Körperschwerpunkt auf den Füßen mit zunehmendem Alter deutlich in Richtung Zehen verschoben wird. Der posturale Schwerpunkt liegt im Alter von drei bis fünf Jahren bei ca. 36% der Fußlänge (von der Ferse entfernt) und im Alter von 11 Jahren bei 41-42% der Fußlänge von der Ferse entfernt [141].

PRÄTORIUS und MILANI (2004) befassten sich mit dem Zusammenhang zwischen sensomotorischen Fähigkeiten und unterschiedlichen Sozialisationsbedingungen. Die untersuchten 163 Kinder waren im Alter von sechs bis 13 Jahren und stammten aus zwei verschiedenen Stadtteilen einer Großstadt im Ruhrgebiet. In dieser Studie entdeckten sie, dass Kinder aus sozial schwachen Stadtteilen eine schlechtere Balancefähigkeit und Koordinationsfähigkeit bzw. schlechtere sensomotorische Leistungen aufwiesen als Kinder aus sozioökonomisch starken Stadtteilen. Außerdem konnte ein positiver Zusammenhang zwischen der sportlichen Aktivität von Kindern und ihren sensomotorischen Leistungen hergestellt werden [115]. Aus dem Ergebnis schlussfolgerten PRÄTORIUS und MILANI (2004), dass die Spiel- und Sportmöglichkeiten, wie z.B. Bewegungsräume der Sportvereine, hier eine große Rolle spielen [115].

HIRTZ et al. (2000) erkannten, dass die Voraussetzungen zur Entwicklung und Vervollkommnung des Balancier- und Drehgleichgewichts im jüngeren Schulkindalter am besten sind. Verschiedene Formen des Standgleichgewichts sollten im Zusammenhang mit den zunehmenden Kraftwerten während und nach der Pubertät perfektioniert werden [59].

Deshalb sind der Sportunterricht bzw. die Körpererziehung in der Schule oder in den Sportvereinen besonders in dieser Phase von großer Bedeutung. Durch Fachleute kann nicht nur die motorische Leistung, sondern auch die gesamte Entwicklung der Kinder gefördert werden.

2.3.3 Sensomotorische Balancefähigkeit im Erwachsenen- und Seniorenalter

Das Erwachsenen- und Seniorenalter schließt die Altersbereiche des frühen Erwachsenenalters (18.-30. Lebensjahr), des mittleren Erwachsenenalters (30.-45. Lebensjahr) und des späteren Erwachsenenalters (45.-65. Lebensjahr) bis zum Seniorenalter (65. Lebensjahr - Tod) ein. Im frühen Erwachsenenalter erreichen die sensomotorischen Leistungen ihren Höhepunkt. Im späteren Erwachsenenalter beginnt sich die sensomotorische Leistung zu reduzieren, um im Seniorenalter weiter abzusinken [138].

Nach KIRCHNER und CONRADI (1998) kommt es für Trainierte im frühen Erwachsenenalter zur vollen Ausprägung der sensomotorischen Leistungen. Bei Untrainierten bleibt in dieser Zeit die sensomotorische Leistungsfähigkeit relativ konstant. Das mittlere Erwachsenenalter stellt eine Phase dar, in der hohe und höchste sportliche Leistungen erzielt

werden können, aber nicht mehr in allen Sportarten. Gleichzeitig kommt es bei Untrainierten in dieser Zeitspanne langsam zu einem Abbau der sensomotorischen Leistungen [77].

Im späteren Erwachsenenalter und Seniorenalter wird die Minderung der Balancefähigkeit von vielen Faktoren beeinflusst. Dabei spielen Krankheiten, wie z.B. Arthritis, Osteoporose usw., eine wichtige Rolle. Andere altersabhängige Gründe sind u.a. verminderte Organfunktion, sinkende Sensibilität der sensorischen Rezeptoren, verlängerte Reaktionszeit und Reflexzeit bzw. Verschlechterung der Koordination und Dysfunktion der Augen und des vestibulären Systems [129]. Eine mögliche Ursache ist das Nachlassen der körperlichen Aktivität mit zunehmendem Alter. KIRCHNER (1996) meint, dass es mit einer schlechteren Balancefähigkeit im Seniorenalter zu einer erhöhten Unsicherheit und damit verbunden zu einem erhöhten Unfallrisiko in der Alltagsmotorik kommt. Diese Unsicherheiten schränken die Handlungsfähigkeit im Alltag erheblich ein [78].

VÖLKER et al. (2003) befassten sich mit der sensomotorischen Leistungsfähigkeit bzw. der Balancefähigkeit von Senioren. Sie wollten wissen, ob die körperliche Aktivität im Alter die Balancefähigkeit beeinflussen kann. 31 Seniorentänzerinnen (Durchschnittsalter 75 Jahre) und 25 sportlich inaktive Seniorinnen (Durchschnittsalter 76 Jahre) wurden mit Hilfe eines Balancetests untersucht. Das Ergebnis zeigte, dass die Seniorentänzerinnen eine deutlich bessere Balanceleistung als die sportlich inaktiven Seniorinnen hatten. Dadurch wurde bestätigt, dass die sportliche Aktivität einen positiven Einfluss auf die Balancefähigkeit im Seniorenalter ausübt [147].

3 Methodik

3.1 Probanden

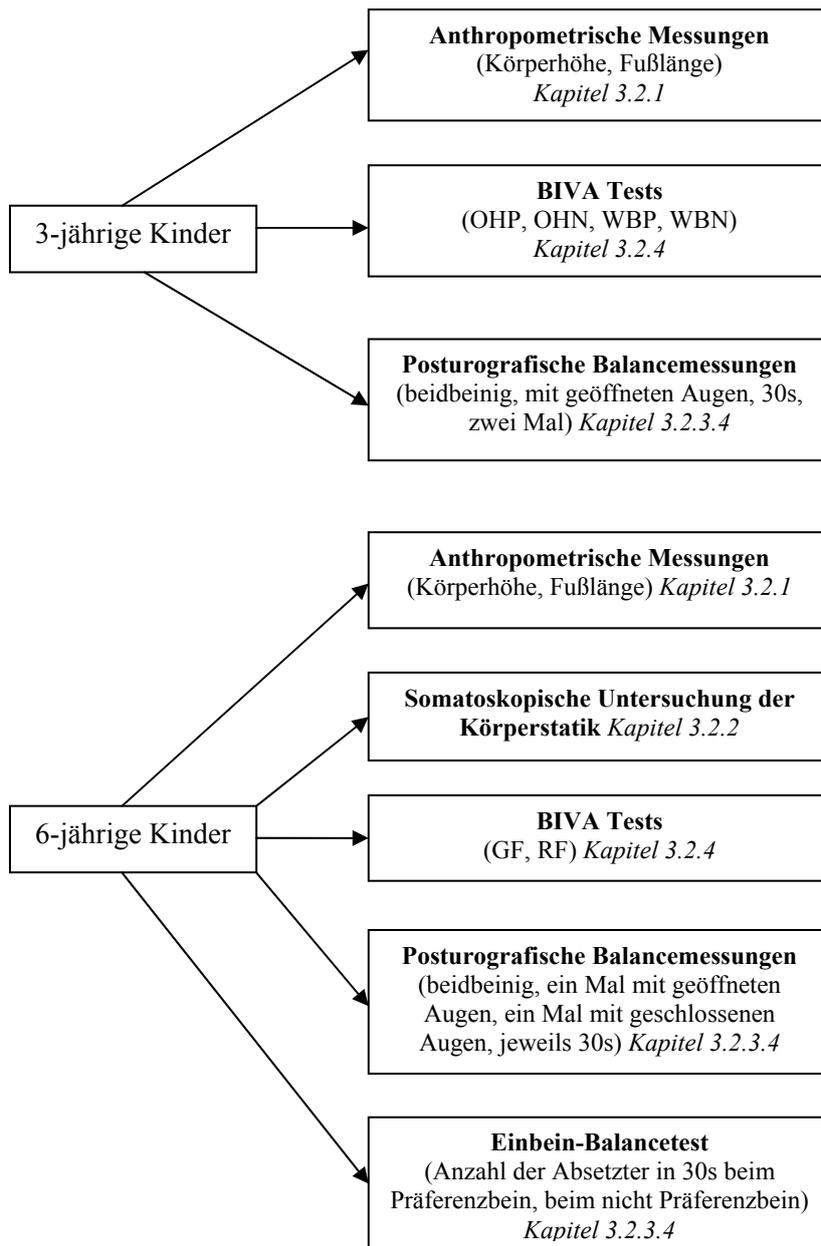
Die Studie lief begleitend zu dem Projekt “Integrative Motorik- und Kognitionsförderung in Kita/Schule“. Dabei wurden Teilnehmer aus 14 Potsdamer Kindertagesstätten (Kitas) erfasst. Insgesamt nahmen 201 drei- bzw. vierjährige Kinder an dieser Studie teil, davon 98 männliche Probanden im Durchschnittsalter von $47,9 \pm 4,6$ Monaten und 103 weibliche Probanden im Durchschnittsalter von $47,4 \pm 4,2$ Monaten. Dazu kamen 148 fünf- bzw. sechsjährige Kinder, davon 66 männliche Probanden (Durchschnittsalter von $70,8 \pm 3,9$ Monaten) und 82 weibliche Probanden (Durchschnittsalter von $71,9 \pm 2,9$ Monaten). Die Teilnehmer waren körperlich gesund und wiesen keine aktuellen sensorischen Schädigungen auf.

3.2 Untersuchungsdesign

Die nachfolgende Grafik gibt eine Übersicht über die bei den Probanden eingesetzten Testverfahren. Als Referenz für die Vergleiche musste die Balancefähigkeit erfasst werden. Dies erfolgte einerseits bei allen Probanden durch eine posturografische Balancemessung mit Hilfe einer Kraftmomentenplattform. Bei den 5- bzw. 6-Jährigen wurde zudem ein Einbeinstehetest ohne Messgerät durchgeführt.

Um mögliche Zusammenhänge mit der Balancefähigkeit zu überprüfen erfolgte die Erfassung anthropometrischer Parameter, der Intelligenzleistung sowie der Beckenstatik.

Alle Verfahren werden anschließend näher beschrieben.



3.2.1 Anthropometrische Messung

Die Untersuchungen wurden vormittags über den Zeitraum von Oktober 2004 bis August 2005 durchgeführt. Diese Spanne war daher erforderlich, da die Kinder in einem möglichst engen Alterszeitfenster erfasst werden sollten. Daher erfolgten mehrere Messtermine über mehrere Monate. In dieser Untersuchung wurde eine anthropometrische Messmethode nach FLÜGEL et al. (1986) zur Erfassung von Körperhöhe und Fußlänge angewandt [41].

Körperhöhe (cm)

Die Körperhöhenmessung der Probanden erfolgte mit der Messmethode nach FLÜGEL et al. (1986). Die Probanden standen ohne Schuhwerk in Grundhaltung vor einem vertikal justierten

Maßband, dem sie den Rücken zuwandten. Die Füße standen eng beieinander. Erfasst wurde die vertikale Entfernung von der Standfläche zum höchsten Punkt des Scheitels in der Medianebene. Der Untersucher sollte sich auf die Größe des zu Messenden einstellen, um diesem waagrecht in die Augen zu blicken. Der Kopf des zu Messenden sollte durch leichtes Anheben der Kieferwinkel aufgerichtet werden. Die Körperhöhe wurde in cm angegeben [41].

Fußlänge (mm)

Das Kind stand entspannt mit leicht gespreizten Beinen und gleichmäßig belasteten Füßen. Ein Lineal lag an der medialen Seite des Fußes an (s. Abb. 3.1). Die Messlänge des Fußes wurde vom vordersten Punkt bzw. dem längsten Zeh über den medialen Fußrand bis zu dem am weitesten nach dorsal vorspringenden Fersenpunkt gemessen und in Millimeterangaben (mm) dokumentiert. Als Messinstrument wurde ein Lineal aus Holz verwendet.



Abb. 3.1 Messung der Fußlänge

3.2.2 Somatoskopische Untersuchung von Beckenstatik bzw. Beinlängendifferenz

Zur Überprüfung möglicher Einflüsse durch statische Asymmetrien des Stütz- und Bewegungssystems auf die Balanceleistung wurden Beckenstatik und Beinlänge überprüft. Diese Untersuchung wurde nach der Methode von FRISCH (1998) durchgeführt. Dadurch lassen sich Aussagen über die Symmetrie der menschlichen Skelettstruktur treffen [43]. Hierbei werden definierte anatomische Landmarks auf beiden Körperseiten durch den Untersucher palpatorisch identifiziert und dann visuell in Bezug auf ihre Lage zueinander beurteilt.

Die erste Untersuchung wurde im Stand im Bereich des *Beckens* vorgenommen. Die Probanden standen in entspannter und aufrechter Haltung. Um die habituelle Haltung zu erfassen wurde eine individuelle Positionierung der Füße zugelassen, beide Knie jedoch in Streckung. Der Untersucher palpizierte die jeweils paarigen *Spinae Iliaca Anterior Superior* (SIAS) (s. Abb. 3.2) und die *Spinae Iliaca Posterior Superior* (SIPS) (s. Abb. 3.3) und

schätzte visuell deren vertikale Position in der Frontalebene ein. Hierzu begab er sich mit den Augen in Beckenhöhe des Probanden.

In Normalstellung befinden sich beide SIPS bzw. SIAS in der Frontalebene auf gleicher Höhe. Abweichungen im Links-Rechts-Vergleich sprechen für eine Symmetriestörung. Je nach Kombination von Hoch- bzw. Tiefstand im Vergleich von SIAS und SIPS kann eine Aussage zum Zustand des Beckens gemacht werden. Dabei galt: Hoch- bzw. Tiefstand von SIAS und SIPS homolateral: Hinweis auf Beckenschiefstand - gekreuzter Hoch- bzw. Tiefstand im Vergleich von SIAS und SIPS: Hinweis auf eine Beckentorsion. Die Untersuchung erfolgte durch eine trainierte Testperson. Vermerkt wurden dabei Art und Quantität der Höhenunterschiede in Millimetern bzw. der Gleichstand beim unauffälligen Befund.



Abb. 3.2 Palpation der Spinae Iliaca Anterior Superior (SIAS)



Abb. 3.3 Palpation der Spinae Iliaca Posterior Superior (SIPS)

Die zweite Untersuchung bezog sich auf den Vergleich der *Beinlängen* entsprechend der Methodik nach DERBOLOWSKI (FRISCH 1993 S. 176 ff.) [44] in Rückenlage auf einer Therapieliege. Der Tester sicherte zunächst, dass der Proband im Liegen keinerlei Seitenabweichung aufwies und korrigierte ggf. die Lage. Mit den Daumen wurde von pedal Kontakt mit den medialen Malleoli für die visuelle Begutachtung hergestellt. Der Untersucher schätzte die Längendifferenzen beider Beine in der Longitudinalachse ein und vermerkte diese in Millimetern. Nach der Beurteilung im gestreckten Liegen mussten sich die Probanden aus der Rückenlage in die Strecksitzposition aufrichten. Hiernach wurde der relative Knöchelstand im Li-Re-Vergleich auch im Sitzen beurteilt. Bei intakter Beckenstatik sollte sich sowohl im Liegen als auch im Sitzen keine Höhendifferenz in der Frontalebene zwischen beiden medialen Malleoli zeigen. Eine echte - anatomische - Beinlängendifferenz imponiert dabei durch einen Versatz beider Malleoli im Liegen und Sitzen gleichermaßen. Bei Vorliegen einer Beckenverwringung kommt es jedoch zu einer Verschiebung der Knöchel im

Sinne einer scheinbaren Beinverlängerung bzw. -verkürzung in Relation zum anderen Bein während des Aufsetzens. Die jeweils vorliegende relative Beinlängendifferenz wurde somatoskopisch eingeschätzt und in Millimetern (mm) angegeben.

3.2.3 Posturografische Balancemessung

3.2.3.1 Technische Beschreibung

Das eingesetzte Messgerät (s. Abb. 3.4) arbeitet auf der Basis einer - der Robotertechnik entlehnten - Kraftmomentensensorik. In Kooperation mit dem Institut für Sportmedizin und Prävention der Universität Potsdam wurde es von der Fa. ipeA GmbH Berlin konzipiert und gemeinsam mit der Fa. Innotech GmbH Berlin im Rahmen des Entwicklungsprojekts „Posturografische Waage“ (ProInno-Projekt) weiterentwickelt sowie fertig gestellt. Die Funktionsweise der Plattform basiert auf einem mit DMS (Dehnmessstreifen) - Sensoren versehenen Verformkörper, der speziell für diese Anwendung berechnet und hergestellt wurde. Das Gerät hat eine 30×30 cm große Standfläche. Unter der Standfläche wurden vier Streben an den vier Ecken eingebaut, um Schäden am Sensor durch übermäßig starke Krafteinwirkung zu vermeiden. Die Sensoren registrieren sowohl die auftretenden Bodenreaktionskräfte in allen drei Raumachsen sowie die Kraftmomente um alle drei Raumachsen. Für die Beurteilung der Feinregulation der posturalen Balance wurden für diese Arbeit die Kraftmomente um die - bezogen auf das Sprunggelenk - Transversalachse (entspricht der Schwankung in anterior-posteriorer Richtung = M_Y) sowie um die Sagittalachse (entspricht der Schwankung in latero-lateraler Richtung = M_X) verwendet.



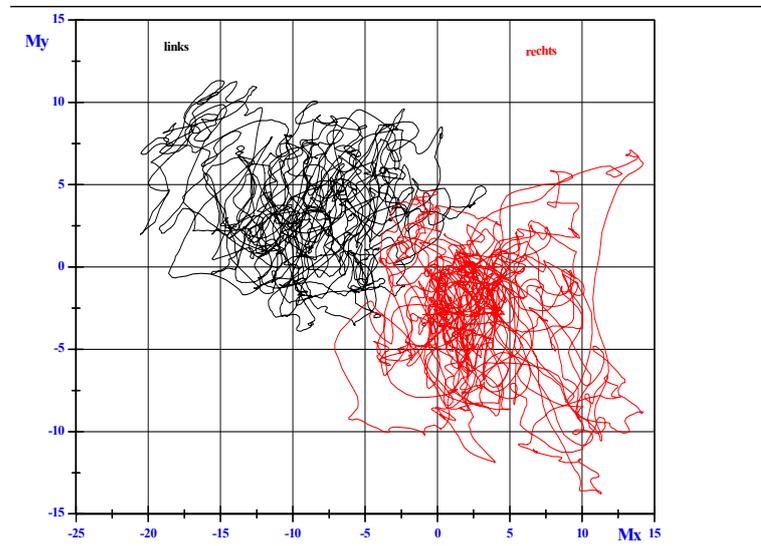
Abb. 3.4 Posturografische Kraftmomentanplattform

Die Messungen wurden - technisch bedingt - mit einer Frequenz von 92,6 Hz durchgeführt, was einem zeitlichen Abstand von 10,8 ms zwischen den Messpunkten entspricht. Die Sensorelektronik enthält eine Messbrücke, die der Wandlung der mechanischen Verformung in elektrische Signale dient. Die mechanischen Wegänderungen sind kleiner als 1 Promille, wodurch ein möglichst großer Spannungshub erreicht werden kann. Danach wird das Signal

der Dehnmessstreifen (DMS) verstärkt. Die analogen Signale werden dann in einem Wandler digitalisiert.

3.2.3.2 Posturale Messdaten

Die Interaktion zwischen Füßen und Boden wurde zunächst über die Kraftmomente in den Freiheitsgraden (M_X für latero-lateral) und (M_Y für anterior-posterior) erfasst. Diese können in einem x-y-Diagramm dargestellt werden (s. Abb. 3.5). Der Verlauf des aus M_X und M_Y resultierenden Moments M_{XY} in



der Zeitreihe von t_1 bis t_m widerspiegelt die mechanischen

Abb. 3.5 Beispiel des M_X - M_Y -Verlaufs bei einem 10-jährigen Schüler während 45 sec. Messung

Korrekturen zwischen Füßen und Boden auf Basis der Kraftmomente.

Hieraus ermittelte die Software des Systems die Linienlänge (als Äquivalent für eine virtuelle Schwankung des Probanden) aus der Summe der Differenzen der einzelnen resultierenden Vektoren M_{XY} jeweils zwischen t_n und t_{n+1} , dividiert durch die - ebenfalls von der Plattform mit gemessene - Gewichtskraft F_Z . Bei der Interpretation ist zu beachten, dass der Linienverlauf nicht die reale Schwankung des Körperschwerpunkts widerspiegelt, sondern den Verlauf der resultierenden Kraftmomente beschreibt. Die Linienlänge wurde für die quantitative Auswertung herangezogen.

Da die sensomotorische Regulation im Mittelpunkt der Betrachtung steht, war jedoch nicht zu erwarten, dass aus dem linearen Parameter Linienlänge hinreichend differenzierte Aussagen zu gewinnen sein würden. Daher zogen wir als möglicherweise sensibleren Parameter, der auch der Nichtlinearität des Vorgangs Balance besser gerecht werden könnte, die Betrachtung der resultierenden Kraftmomente in der Zeitreihe M_{XY} heran (s. Abb. 3.6). Nach den Erfahrungen von BITTMANN et al. bietet sich hier die Analyse der Stationären Epochen nach WESSEL für eine nähere Betrachtung an.

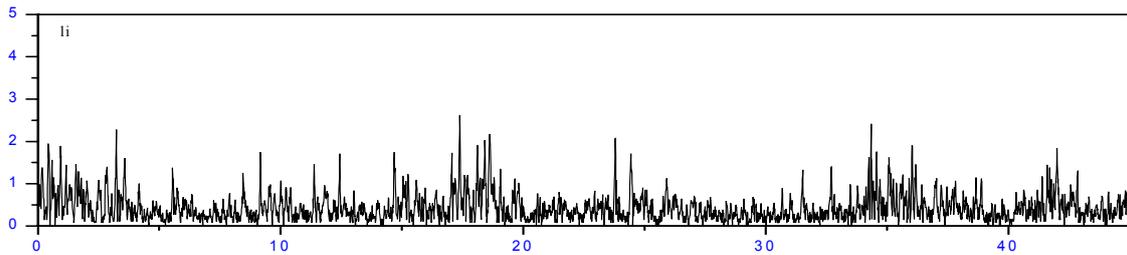


Abb. 3.6 M_{XY} über die Zeit

3.2.3.3 Analyse der Stationären Epochen

Wie Abb. 3.6 veranschaulicht, ist Balanceregulation determiniertes Chaos. Eine stärkere Korrektur des Fußes führte zu größeren Abweichungen der Resultierenden M_{XY} zwischen den Messzeitpunkten und analog umgekehrt. Jedoch lässt sich der konkrete Verlauf der einzelnen Peaks nicht vorhersagen. Um dieses chaotische Verhalten zu analysieren, kann die Zeitreihe der resultierenden Drehmomentänderungen betrachtet werden. Die Datenreihe der M_{XY} -Abweichungen wurde daher einer Zeitreihenanalyse auf der Grundlage von linearen und nichtlinearen Variabilitätsmaßen unterzogen [16]. Für die hierzu erforderlichen komplexen mathematischen Berechnungen kooperierten wir mit der Arbeitsgruppe Nichtlineare Dynamik der Universität Potsdam (Ltg. Prof. KURTHS). Die mathematische Bearbeitung erfolgte durch Herrn Maik RIEDL und Frau Dr. Mamen ROMANO unter Leitung von Herrn Dr. Niels WESSEL.

Ziel der Berechnungen war es, Merkmale der Daten aus dem Zeitreihen- und/oder Frequenzbereich zu isolieren, die im Zusammenhang mit Merkmalen der Probanden stehen (z.B. Geschlecht, Alter, Intelligenzquotient, Fußlänge, ...). Dies sollte dann mit Hilfe einer Diskriminanzanalyse überprüft werden, die die - ausgehend von den vorliegenden Merkmalen der Balanceparameter - eine möglichst gute Gruppenzuordnung entsprechend Geschlecht, Intelligenzwert prüfte. Nach einer Voranalyse von Parametern aus dem Zeitreihen - sowie dem Frequenzbereich kristallisierte sich heraus, dass insgesamt im Bereich der von WESSEL entwickelten Analyse der stationären Epochen Zusammenhänge sichtbar wurden. Dabei stellten sich die Kurzzeit- und stationäre Epoche- Parameter als am besten geeignet heraus.

Unter *Stationären Epochen* kann man Phasen innerhalb einer Zeitreihe verstehen, in denen die Amplituden der Differenzen der Resultierenden von M_{XY} relativ gering ausgeprägt waren.

Während der Messung innerhalb von 30 Sekunden gab es also Zeitspannen, in denen die Probanden nur minimal schwankten.

Man betrachte die Zeitreihe der resultierenden Drehmomentänderung:

$$2\|z_t(\tau)\| = 2\sqrt{(M_x(t+\tau) - M_x(t))^2 + (M_y(t+\tau) - M_y(t))^2}$$

$M_x(t)$ und $M_y(t)$ sind die Zeitreihen der x- und y-Komponenten des Drehmomentes, welches beim Balancieren auf der posturografischen Massplattform auftritt. τ kann als Verzögerungszeit zur Schätzung von \vec{M}_t interpretiert werden. $\| \cdot \|$ Kennzeichnet die euklidische Norm. Der Einfachheit halber wird nachfolgend der Vektorpfeil über dem Drehmoment \vec{M}_t weggelassen und extra durch Index darauf hingewiesen, wenn es sich um Komponenten dieses Vektors handelt.

Für die Trennung der guten von den schlechten Balanceregulationen erwies sich folgende Vorgehensweise bei der Untersuchung von $\|z_t(\tau)\|$ als erfolgreich (s. Abb. 3.7):

- Man bewege ein Fenster der Größe w über den Definitionsbereich der Zeitreihe $\|z_t(\tau)\|$ (hier $t \in [0, \approx 3000]$, d.h. $t \in [0, \approx 30]$ in Sekunden).
- Man bestimme die Varianz innerhalb der einzelnen Fenster und suche nach jenem mit dem niedrigsten Wert. Niedrige Varianz innerhalb des Fensters bedeutet geringe Drehmomentänderungen. D.h., der Proband hat einen ruhigen Stand. Diese Bereiche werden nach WESSEL als stationäre Epochen bezeichnet.
- Für die Werte, innerhalb des Fensters minimaler Varianz, wird der Mittelwert meanNN bestimmt.

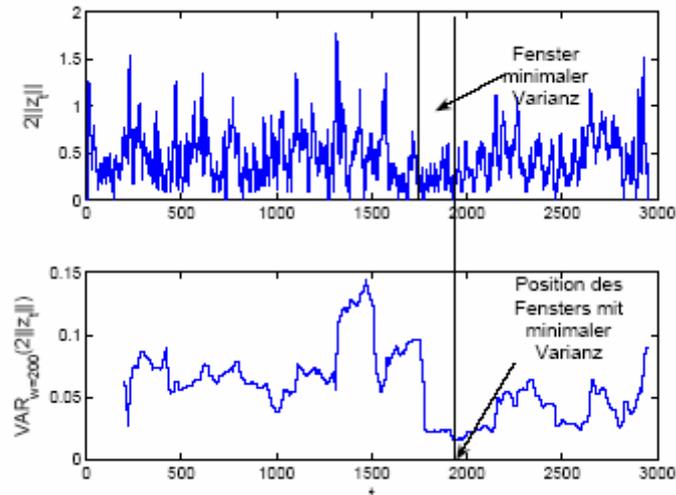


Abb. 3.7 oben: Darstellung von $2||z_t(\tau=10)||$; **unten:** Darstellung der dazugehörigen Varianz innerhalb von Fenstern der Breite 200.

Formel von meanNN:

$$meanNN = \frac{1}{w} \sum_{i=t}^{t+w} z_i$$

Unter Stationäre Epochen versteht man damit die Bezeichnung der kleinsten Varianz aus der Zeitreihe $\{z_i\}$. Aus diesem Grund ist dies keine physikalische Größe und hat somit auch keine Einheit. Die stationären Epochen werden durch Größen wie meanNN (Mittelwert innerhalb der stationären Epoche) charakterisiert.

Bei der Auswahl stationärer Epochen mit minimaler Varianz der Amplitudenschwankungen, d.h. mit einer relativ homogenen Amplitudenhöhe und wenigen Amplitudenmaxima und -minima, erwiesen sich Messphasen von 800 bis 1500 der Gesamtlänge der Zeitreihe als günstig für die Trennbarkeit der Daten. Denn es wurde festgestellt, dass die signifikanten Unterschiede für $w > 800$ von τ unabhängig sind. D.h. die Gruppenunterschiede waren über diesen großen Bereich der Parameterwerte konstant.

Optimal waren Phasen von 900 Werten Länge, was ca. 9,7s entspricht. Dazu wurde τ von 12 empfohlen.

3.2.3.4 Ablauf des Balancetests

Die Balancetests wurden in einem separaten sowie ruhigen und gut ausgeleuchteten Raum durchgeführt, so dass die Probanden nicht von äußeren Einflüssen gestört werden konnten. Bei den Messungen waren die Probanden ohne Schuhwerk. Während beider Tests hatten sie die Aufgabe, aufrecht und ruhig bei äquilibrierter Kopfhaltung zu stehen [16, 70], d.h. die Kopfhaltung sollte ohne Flexion oder Reklination der Halswirbelsäule eingenommen werden.

Posturografischer Balancetest (s. Abb. 3.8)

Bevor die Balanceuntersuchungen begannen, konnte jedes Kind ein Mal auf dem Testgerät stehen und probieren. Der Tester stand neben dem Probanden, um die nötige Stütze zu geben.

Die Probanden sollten während der Balancetests ihren Blick horizontal fixieren. Das Blickfeld der Probanden war neutral, akustische, optische und taktile Ablenkungen wurden vermieden. Die Arme lagen entspannt am Körper an. In dieser Untersuchung mit der Plattform für die fünf-/sechsjährigen Kinder wurden zwei Testvarianten durchgeführt: Bei der ersten standen die Kinder auf beiden Beinen mit geöffneten Augen, bei der zweiten Testvariante standen sie auf beiden Beinen mit geschlossenen Augen. Jede Messung dauerte 30 Sekunden. Bei den drei-/vierjährigen Kindern wurden je zwei Messungen mit beiden Beinen und geöffneten Augen für jeweils 30 Sekunden auf der Plattform durchgeführt.



Abb. 3.8 Posturografischer Test für Beidbein-Balancetest

Einbein-Balancetest (s. Abb. 3.9)

Beim Einbein-Balancetest standen die Kinder mit geöffneten Augen für jeweils 30 Sekunden auf dem Boden. Dabei wurde dem Kind nicht vorgeschrieben, mit welchem Bein der Test erfolgte. Das intuitiv gewählte Bein wurde vom Tester als Präferenzbein registriert. Danach erfolgte ein weiterer Test im Stand auf dem anderen Bein. Beim Einbein-Balancetest versuchten die Kinder das Gleichgewicht zu halten. Im Moment des Abhebens des Spielbeins vom Boden wurde die Stoppuhr gestartet. Falls die Kinder nicht in der Lage waren, ganze 30 Sekunden die Balance zu halten, konnten sie sich kurz mit dem anderen Bein abstützen. Die Häufigkeit des Absetzens des Spielbeinfußes wurde gezählt. Wenn bei einem Kind die Anzahl der Absetzer während der Messzeit mehr als 10 betrug, wurde dies als „mehr als 10“ gewertet.



Abb. 3.9 Einbein-Balancetest

Die Probanden wurden anhand der Anzahl des Absetzens in drei Perzentildrittel eingeteilt. Die Probanden im - bezogen zur Zahl der Absetzer - unteren Perzentil-Drittel der Gruppe gehörten zur Gruppe „gute Balance“. Im Gegensatz dazu wurden Probanden in die Gruppe „schlechte Balance“ eingeordnet, wenn ihre Anzahl des Absetzens zum oberen Perzentil-Drittel gehörten.

3.2.3.5 Gütekriterien für die Balancetestverfahren

Zur Überprüfung der Gütekriterien haben drei Probanden (zwei Mädchen und ein Junge im durchschnittlichen Alter von $74 \pm 6,6$ Monaten) 12 Mal in drei aufeinander folgenden Tagen am Balancetestverfahren bzw. posturografischen Balancetest und Einbein-Balancetest teilgenommen. An jedem der Testtage absolvierten sie 4 Mal den posturalen Plattformtest und 4 Mal den Einbein-Balancetest. In der Zeitabfolge der Balancetestverfahren wurde zuerst der posturale Balancetest und dann der Einbein-Balancetest durchgeführt. Zwischen den Tests war jeweils 10 Minuten Pause, um Ermüdungseffekte zu vermeiden.

Die Reliabilität der posturalen Balancetests wurde mit dem Alpha-Koeffizienten (nach Cronbach) überprüft. Hierbei betrug der Alpha-Koeffizient der Linienlänge 0,9947.

Der Alpha-Koeffizient des Einbein-Balancetests wurde beim Präferenzbein mit 0,9574 und beim Nicht-Präferenzbein mit 0,7699 ermittelt. Der Cronbach Alpha-Koeffizienten prüft die Summe der drei Probanden der Vorstudie. Der Alpha-Koeffizient kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen. In bestimmten Kontexten gelten Skalen mit Alphawerten zwischen 0,7 und 0,8 bereits als brauchbar, je höher der Alphawert wird, desto 'besser' ist die interne Konsistenz der Skala. Werte zwischen 0,9 und 0,99 gelten als gut [131]. Anhand der Überprüfung des Alpha-Koeffizienten wurde dem posturografischen Balancetest (Linienlänge) und Einbein-Balancetest (beim Präferenzbein) hohe *Reliabilität* bescheinigt.

Die Evaluation des posturografischen Plattform-Balancetests wurde unter zwei visuellen Bedingungen (mit geöffneten Augen und mit geschlossenen Augen) überprüft, da die Bedeutung des visuellen Analysators allgemein bekannt ist und der positive Einflüsse von visuellen Informationen auf die sensomotorische Balance bisher durch zahlreiche Studien belegt wurde.

139 6-jährige Kinder (61 Jungen und 78 Mädchen) nahmen an den Tests teil. Der Mittelwert der Linienlänge betrug bei den untersuchten Jungen mit geöffneten Augen 624,06 ±215,38 mm und mit geschlossenen Augen 797,35 ±227,94 mm. Die Mädchen erreichten im Durchschnitt mit geöffneten Augen 504,11 ±122,79 mm und mit geschlossenen Augen 644,73 ±173,03 mm. Damit weist das System die aus der Literatur bekannten Einflüsse der optischen Kontrolle auf die Balanceregulation deutlich nach. Diese Effekte sind höchstsignifikant, sowohl bei den Jungen ($p=0,000$ ***) als auch bei den Mädchen ($p=0,000$ ***). Dieses Ergebnis kann als weiterer Hinweis für die Validität des Messverfahrens angesehen werden.

3.2.4 Intelligenz-Parameter

Der Intelligenztest wurde in Zusammenarbeit mit Prof. Schaarschmidt vom Institut für Psychologie (Ltr. Arbeitsgruppe für Persönlichkeits- und Differentielle Psychologie) der Universität Potsdam - der den angewandten Test entwickelte - durchgeführt. Es wurde der „Bildbasierte Intelligenztest für das Vorschulalter (BIVA)“ nach SCHAARSCHMIDT et al. (2004) [123] verwendet. BIVA besteht aus sechs Untertests, die je nach Komplexität der geforderten kognitiven Operationen variieren. Die ersten vier Untertests waren OHP (Objekte-Herauslösen-positiv), OHN (Objekte-Herauslösen-negativ), WBP (Wort-Bild-Vergleich-positiv) und WBN (Wort-Bild-Vergleich-negativ). Diese Tests gelten für die jüngeren Kinder im Alter von 3,6 bis 5,5 Jahren. Die Untertests GF (Geschichten-Folgen) und

RF (Reihen-Fortsetzen) sind für die Kinder im Alter zwischen 4,6 ~ 6,1 und 5,6 ~ 6,5 Jahren geeignet und wurden daher für diese Altersgruppe angewandt.

Bei den Untertests OHP und OHN werden dem Kind farbige Karten vorgelegt. Auf diesen sind mehrere Tiere abgebildet, die dem Kind aus dem Alltagsleben bekannt sind. Beim OHP ist nur ein Tier auf beide Seiten zu sehen, dieses Tier soll durch das Kind herausgefunden und gezeigt werden (s. Abb. 3.10).

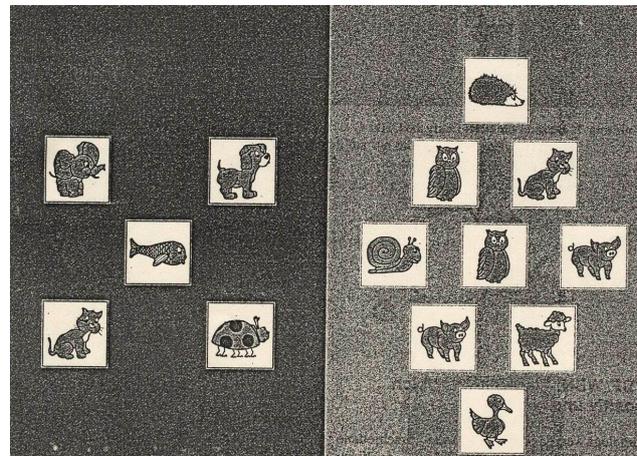


Abb. 3.10 Beispiel für OHP: Es ist das Tier zu zeigen, das auf dem blauen (links) und dem grünen (rechts) Feld vorkommt (nach Schaarschmidt et al. 2004 S. 13)

Beim OHN gibt es ein einzelnes Tier, das nur auf der grünen Seite der Karte zu sehen ist und nicht auf der blauen Karte. Die Kinder sollen dieses Tier von den übrigen abgebildeten Tieren unterscheiden (s. Abb. 3.11).

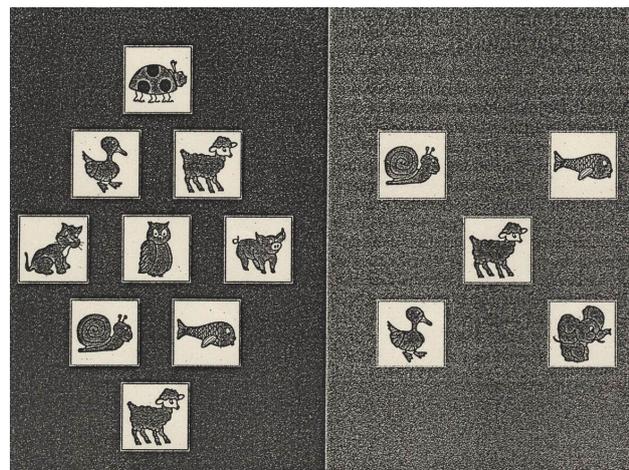


Abb. 3.11 Beispiel für OHN: Es ist das Tier zu zeigen, das nur auf dem grünen (rechts) und nicht auf dem blauen Feld (links) vorkommt (nach Schaarschmidt et al. 2004 S. 14)

Die Untertests WBP (s. Abb. 3.12) und WBN (s. Abb. 3.13) prüfen den Wortschatz der Kinder. Hier ist der Vergleich zwischen Wort und Bild gefordert, um die zu Grunde liegende semantische Relation zu erkennen. Auf den Karten werden verschiedene Gegenstände des Alltags gezeigt. Pro Karte wird in beiden Untertests jeweils durch den Tester ein Wort z.B. weich, Garten genannt. Es wurde dabei eine Variation nach den Relationen Verb-Handlungsträger, Verb-Objekt, Verb-Instrument und Über-Unterordnungs-, Nebenordnungs- und Attributsrelation vorgenommen. Die Kinder versuchen, das entsprechende Bild auf den Karten zu zeigen, das zu dem genannten Wort passt. Beim WBN sollen die Kinder die Gegenstände herausfinden, die nicht zum genannten Wort passen. Diese vier Untertests bestehen aus je sechs Unteraufgaben und einer Beispielaufgabe.



Abb. 3.12 Beispiel für WBP: Es sind die Bilder zu zeigen, die zum Wort *weich* passen. (nach Schaarschmidt et al. 2004 S. 15)



Abb. 3.13 Beispiel für WBN: Es sind die Bilder zu zeigen, die nicht zum Wort *Garten* passen (nach Schaarschmidt et al. 2004 S. 15)

In den Untertests GF erzählen die Bilder immer eine kleine Geschichte. Die Bilder werden durcheinander hingelegt. Die Kinder sollen die Bilder in die richtige Reihenfolge bringen (s. Abb. 3.14). In den weiteren Untertests RF wurden drei Karten mit abgebildeten Tieren und eine Leerkarte in einer Reihe vorgelegt. Die Kinder sollen die Regel der vorgegebenen Reihe herausfinden und die Fortsetzung auf der leeren Karte mit den vorhandenen Tierbildern aufbauen (s. Abb. 3.15).

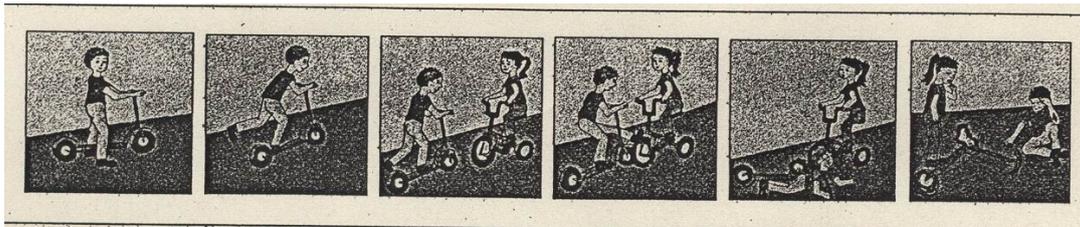


Abb. 3.14 Beispiel für GF: Die Bilder werden in ungeordneter Reihenfolge vorgegeben. Sie sind so zu legen, dass eine Geschichte entsteht (nach Schaarschmidt et al. 2004 S. 16)

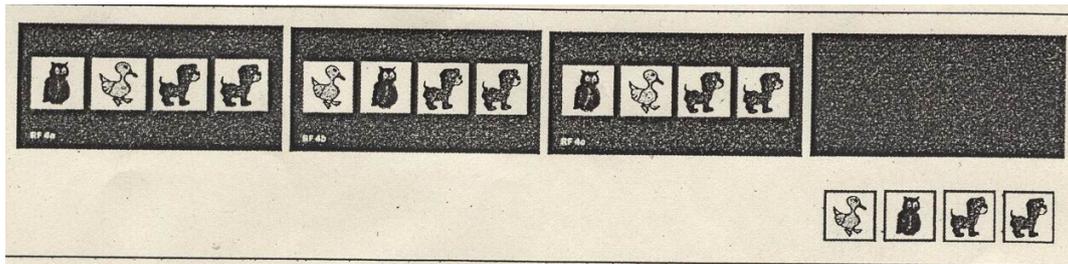


Abb. 3.15 Beispiel für RF: Die Tiere sind so auf der vierten Karte anzuordnen, dass die Reihe fortgesetzt wird (nach Schaarschmidt et al. 2004 S. 16)

Die Punkte werden nach folgenden Kriterien vergeben:

- Das Kind findet die Lösung selbständig: 3 Punkte
- Das Kind benötigt eine Hilfestellung: 2 Punkte
- Das Kind benötigt eine weitere Hilfestellung: 1 Punkt
- Die Lösung wird vorgegeben: 0 Punkte

Zu den erreichten Punkten wird noch die benötigte Zeit pro Untertest und das Verhalten des Kindes protokolliert.

Die Probanden wurden anhand ihrer Intelligenzwerte in drei Gruppen eingeteilt: gute (hoher Intelligenzwert), durchschnittliche und schlechte (niedriger Intelligenzwert) Gruppe. Probanden die einen Intelligenzwert im oberen Perzentil-Drittel der Gruppen erreichten, gehörten zur Gruppe „Hoher Intelligenzwert“. Im Gegensatz dazu wurden Probanden in die Gruppe „Niedriger Intelligenzwert“ eingeordnet, wenn sie zum unteren Perzentil-Drittel gehörten.

3.3 Statistische Verfahren

Die Daten wurden mit Microsoft Excel 2002 erfasst. Für die statistischen Verfahren der Arbeit wurde das Programmsystem SPSS 10 verwendet. Die Parameter der stationären Epochen wurden durch Algorithmen für nichtlineare Zeitreihenanalysen bestimmt [16, 85, 148].

Der posturale Balanceparameter (Linienlänge) wurde durch die zum Messsystem gehörige Software berechnet. Die Berechnung der Parameter der stationären Phase erfolgte wegen der vermuteten Nichtlinearität durch das Institut für Physik, Arbeitsgruppe Nichtlineare Dynamik (KURTHS, WESSEL, RIEDL und ROMANO) (siehe Kapitel 3.2.3.3).

Für die deskriptive statistische Bearbeitung wurden der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung berechnet. Die Gruppenvergleiche erfolgten prüfstatisch für die posturalen Balanceparameter (Linienlänge und Stationäre Epochen) über die statistischen Tests Mann-Whitney U und Wilcoxon.

Das Signifikanzniveau wurde nach Bonferroni korrigiert, da bei multipler Anwendung des Mann-Whitney U Tests die gleiche Hypothese 2 Mal (Linienlänge und Stationäre Epoche) überprüft wird. Bei jedem einzelnen Test muss daher die Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0,05$ kleiner gewählt werden, um zu gewährleisten, dass die globale Irrtumswahrscheinlichkeit gleich bleibt. Bei 2 Tests wird jeder einzelne Test zur Fehlerwahrscheinlichkeit $0,05/2 = 0,025$ getestet.

Außerdem wurde die Korrelation zwischen Körperhöhe sowie Fußlänge mit der posturalen Balancefähigkeit überprüft. Dann erfolgte die Berechnung der Wahrscheinlichkeit (p) und des Korrelationskoeffizienten (r) nach Pearson (s. Tab. 3.1), wobei folgende Signifikanzen angenommen wurden [40]:

Tab. 3.1 Korrelationskoeffizienten (vgl. FLEISCHER 1988)

$r=0$	Kein Zusammenhang
$0 < r < 0,4$	Niedriger Zusammenhang
$0,4 < r < 0,7$	Mittlerer Zusammenhang
$0,7 < r < 1$	Hoher Zusammenhang
$r=1$	Vollständiger Zusammenhang

4 Ergebnisse

Bei den Daten der posturalen Balancemessung wurde zuerst überprüft, ob Linienlänge und der Parameter der Stationären Epochen zusammenhängen. Korrelationskoeffizienten wurde nach Pearson ermittelt. Der Vergleich zeigt einen hohen Zusammenhang zwischen dem linearen Parameter Linienlänge und dem Parameter „Stationäre Epochen nach WESSEL ($w=900$, $\tau=12$)“, mit höchster Signifikanzen ($r=0,738$; $p=0,000$ ***). Da das Niveau der Korrelation sich in der Nähe zur mittleren Korrelation befand, bezogen wir dennoch beide Parameter in die Betrachtung ein.

4.1 Geschlecht und sensomotorische posturale Balancefähigkeit

4.1.1 Dreijährige Probanden

In den Vergleichen der posturalen Balancefähigkeit zwischen Jungen und Mädchen wurden 190 dreijährige Kinder erfasst, davon 94 Jungen ($47,8 \pm 0,5$ Monate) und 96 Mädchen ($47,5 \pm 0,4$ Monate).

Linienlänge

Der Mittelwert der Linienlänge betrug bei den Jungen $822,54 \pm 261,63$ mm und bei den Mädchen $771,78 \pm 334,4$ mm (s. Abb. 4.1). Die folgende statistische Überprüfung ergab keinen signifikanten Unterschied der Mittelwerte voneinander ($p=0,0385$). (Konfidenzintervalle: Jungen: $768,96 \sim 876,13$ mm, Mädchen: $704,03 \sim 839,54$ mm)

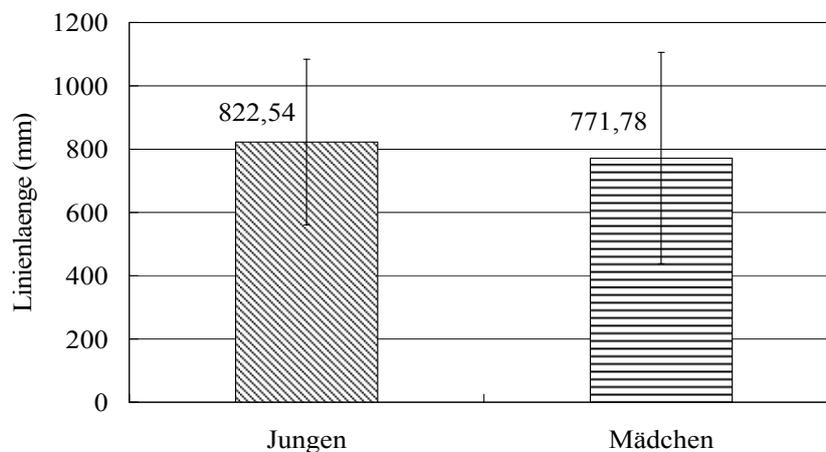


Abb. 4.1 Linienlänge (mm) von dreijährigen Probanden mit geöffneten Augen unterteilt nach Geschlechtern

Stationäre Epochen

Bei der Auswahl der stationärer Epochen mit minimaler Varianz der Amplituden stellten wir einen Wert von $0,64 \pm 0,26$ für die Jungen und von $0,55 \pm 0,31$ für die Mädchen fest (s. Abb. 4.2). Das bedeutet: Mädchen wiesen häufiger und deutlicher als Jungen stationäre Zeitintervalle von ca. 9,7 Sekunden Dauer auf. Diese Phasen sind durch nur minimale Drehmomentänderungen in anterior-posteriorer sowie latero-lateraler Richtung gekennzeichnet. Der Unterschied zwischen den beiden Geschlechtergruppen war hochsignifikant ($p=0,0025$ **).

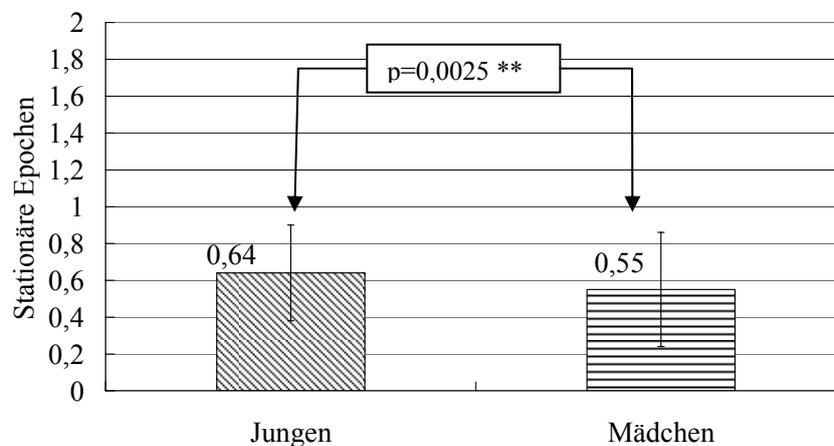


Abb. 4.2 Stationäre Epochen von dreijährigen Probanden mit geöffneten Augen unterteilt nach Geschlechtern

4.1.2 Sechsjährige Probanden

An dieser Untersuchung nahmen 142 sechsjährige Kinder teil, davon 62 Jungen (71 ±0,5 Monate) und 80 Mädchen (71,9 ±0,3 Monate).

Linienlänge

Der arithmetische Mittelwert betrug bei den untersuchten Jungen mit geöffneten Augen 624,06 ±215,38 mm und mit geschlossenen Augen 797,35 ±227,94 mm. Die Mädchen erreichten im Durchschnitt mit geöffneten Augen 504,11 ±122,79 mm und mit geschlossenen Augen 644,73 ±173,03 mm. Die Mädchen hatten mit geöffneten Augen ($p=0,00002$ ***) und mit geschlossenen Augen ($p=0,00003$ ***) eine höchstsignifikant kürzere Linienlänge als die Jungen (s. Abb. 4.3).

Die Konfidenzintervalle (95%) der Linienlänge mit geöffneten Augen lagen bei den Jungen zwischen 569,37 mm und 678,76 mm sowie bei den Mädchen zwischen 476,79 mm und 531,44 mm. Bei geschlossenen Augen waren die Konfidenzintervalle der Linienlänge zwischen 739,47 mm und 855,24 mm für die Jungen und zwischen 605,72 mm und 683,74 mm für die Mädchen angesiedelt.

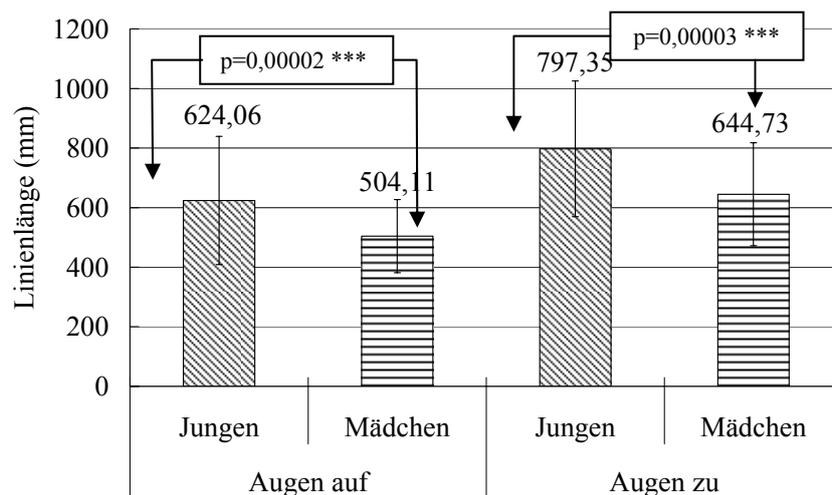


Abb. 4.3 Linienlänge (mm) von sechsjährigen Probanden mit geöffneten und geschlossenen Augen unterteilt nach Geschlechtern

Stationäre Epochen

In Bezug auf die stationären Epochen ermittelten wir bei den Jungen mit geöffneten Augen einen mittleren Wert von $0,63 \pm 0,23$ und mit geschlossenen Augen von $0,87 \pm 0,32$. Die Werte der Mädchen betragen $0,48 \pm 0,19$ mit geöffneten Augen und $0,67 \pm 0,32$ mit geschlossenen Augen. Die gefundenen Unterschiede sagen aus, dass Mädchen sowohl mit geöffneten Augen ($p=0,0003$ ***) als auch mit geschlossenen Augen ($p=0,0002$ ***), höchstsignifikant stabiler stehen als Jungen (s. Abb. 4.4).

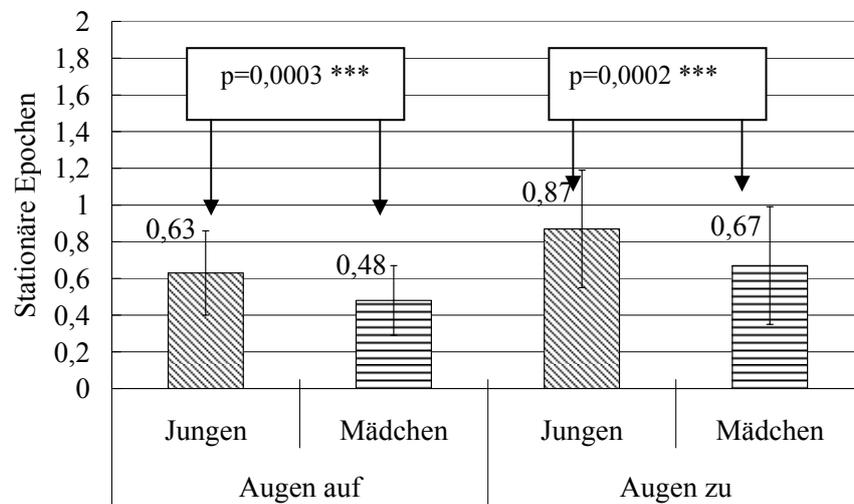


Abb. 4.4 Stationäre Epochen von sechsjährigen Probanden mit geöffneten und geschlossenen Augen unterteilt nach Geschlechtern

4.2 Zum Zusammenhang der anthropometrischen Parameter (Körperhöhe und Fußlänge) mit den Balancedaten

4.2.1 Dreijährige Jungen

Die Untersuchung wurde bei 36 Jungen ($49,4 \pm 0,7$ Monate) durchgeführt. Zwischen der Körperhöhe und der Linienlänge wurde kein Zusammenhang gefunden ($r=0,07$, $p=0,697$). Demgegenüber ließ sich eine mittlere positive Korrelation ($r=0,47$) zwischen der Körperhöhe und der stationären Epoche feststellen. Diese Korrelation ist statistisch hoch signifikant ($p=0,004$ **).

Außerdem ergab sich kein bedeutender Zusammenhang zwischen Fußlänge und Linienlänge ($r=-0,206$, $p=0,227$). Die Auswertung der Parameter der nichtlinearen Dynamik zeigte eine schwache Korrelation mit der Fußlänge ($r=0,296$, $p=0,079$).

4.2.2 Dreijährige Mädchen

Die Untersuchung wurde bei 45 Mädchen ($48 \pm 0,6$ Monate) durchgeführt. Bei den Mädchen wurden keine Korrelationen zwischen Körperhöhe und Linienlänge ($r=-0,1$, $p=0,532$) gefunden. Eine signifikante Korrelation zwischen Körperhöhe und den stationären Epochen wurde ebenfalls nicht festgestellt ($r=0,01$, $p=0,944$).

Auch gab es keine hinreichenden Korrelationen zwischen der Fußlänge und der Linienlänge ($r=-0,221$, $p=0,15$), ebenso zwischen Fußlänge und den stationären Epochen ($r=-0,041$, $p=0,791$).

4.2.3 Sechsjährige Jungen

Mit geöffneten Augen:

An dieser Untersuchung nahmen 58 Jungen ($70,9 \pm 0,5$ Monate) teil. Die Auswertung der Daten der posturalen Balance ergab bei den Jungen mit geöffneten Augen keine Korrelation zwischen der Körperhöhe und der Linienlänge ($r=-0,103$, $p=0,444$). Aber auch zwischen den stationären Epochen und der Körperhöhe konnte keine deutliche Korrelation festgestellt werden ($r=0,195$, $p=0,142$).

Bezogen zur Fußlänge konnte bei der Linienlänge ($r=-0,055$, $p=0,684$) kein wesentlicher Zusammenhang mit Balancewerten hergestellt werden. Zwischen Fußlänge und den

stationären Epochen wurde ein schwacher tendenzieller Zusammenhang gefunden ($r=0,241$, $p=0,068$), der allerdings auch das erforderliche Signifikanzniveau knapp verfehlt.

Mit geschlossenen Augen:

58 Jungen ($70,9 \pm 0,5$ Monate) wurden beim Test mit geschlossenen Augen betrachtet. Es zeigte sich keine Korrelation zwischen der Körperhöhe und der Linienlänge ($r=-0,113$, $p=0,398$). Eine Korrelation zwischen der stationären Epoche und der Körperhöhe wurde ebenso nicht bestätigt ($r=0,149$, $p=0,266$).

Auch ergab sich kein bedeutender Zusammenhang zwischen Fußlänge und Linienlänge ($r=0,017$, $p=0,9$). Eine schwache positive Korrelation zeigte die Fußlänge mit den stationären Epochen ($r=0,359$). Diese war signifikant ($p=0,006$ *).

4.2.4 Sechsjährige Mädchen

Mit geöffneten Augen:

Die Untersuchung wurde bei 73 sechsjährigen Mädchen ($71,8 \pm 0,4$ Monate) durchgeführt. Es fand sich keine Korrelation zwischen Körperhöhe und Linienlänge ($r=-0,129$, $p=0,278$) mit geöffneten Augen, aber eine niedrige positive Korrelation zwischen der Körperhöhe und der stationären Epoche ($r=0,327$). Diese Korrelation war hoch signifikant ($p=0,005$ **).

Ein Zusammenhang zwischen der Fußlänge und der Linienlänge wurde beim Balancieren mit geöffneten Augen nicht festgestellt ($r=-0,115$, $p=0,334$). Gleiches gilt in Bezug auf die nichtlineare Analyse der stationären Epochen ($r=0,203$, $p=0,085$).

Mit geschlossenen Augen:

Auch hier konnten die Messungen von 73 Mädchen ($71,8 \pm 0,4$ Monate) zu Grunde gelegt werden. Es zeigte sich keine Korrelation mit der Linienlänge ($r=0,116$, $p=0,337$). Dazu haben wir eine mittlere positive Korrelation zwischen der stationären Epoche und der Körperhöhe festgestellt ($r=0,428$). Diese Korrelation war statistisch höchstsignifikant ($p=0,000$ ***).

Außerdem ergab sich kein Zusammenhang zwischen der Fußlänge und der Linienlänge ($r=0,02$, $p=0,867$), aber eine niedrige positive Korrelation zwischen der Fußlänge und der stationären Epoche ($r=0,263$). Diese Korrelation zeigte eine tendenzielle Signifikanz ($p=0,027$).

4.3 Statik und sensomotorische posturale Balancefähigkeit

4.3.1 Beckenstatik

Die Untersuchung der Beckenstatik wurde bei 62 Jungen und 80 Mädchen durchgeführt. Ohne auffällige Beckenstörung waren davon 46 Jungen und 67 Mädchen. Bei 16 Jungen und 13 Mädchen wurde eine auffällige Beckenstörung festgestellt.

Linienlänge

Als Linienlänge hatten die gesamte „keine auffällige Beckenstörung“-Gruppe durchschnittlich mit geöffneten Augen 554,74 ±189,32 mm (Jungen: 617,93 ±234,81 mm, Mädchen: 502,84 ±130,17 mm) und mit geschlossenen Augen 706,8 ±226,28 mm (Jungen: 781,07 ±243,33 mm, Mädchen: 642,42 ±181,48 mm). Im Gegensatz dazu hatten die gesamte „auffällige Beckenstörung“ Gruppe mit geöffneten Augen eine Linienlänge von 596,73 ±155,6 mm (Jungen: 641,69 ±150,97 mm, Mädchen: 510,69 ±77,59 mm) und mit geschlossenen Augen von 779,2 ±233,87 mm (Jungen: 827,38 ±177,71 mm, Mädchen: 656,31 ±127,6 mm). (s. Abb. 4.5 und Abb. 4.6)

Obwohl der Mittelwert der Linienlänge der „keine auffällige Beckenstörung“-Gruppe sowohl mit geöffneten als auch mit geschlossenen Augen kürzer als in der „auffällige Beckenstörung“-Gruppe war, zeigte sich keine Signifikanz, weder mit geöffneten Augen ($p=0,041$) noch mit geschlossenen ($p=0,082$). Dies änderte sich auch bei geschlechtsspezifischer Betrachtung nicht (mit geöffneten Augen: Jungen: $p=0,157$ und Mädchen: $p=0,365$; mit geschlossenen Augen: Jungen: $p=0,278$ und Mädchen: $p=0,578$)

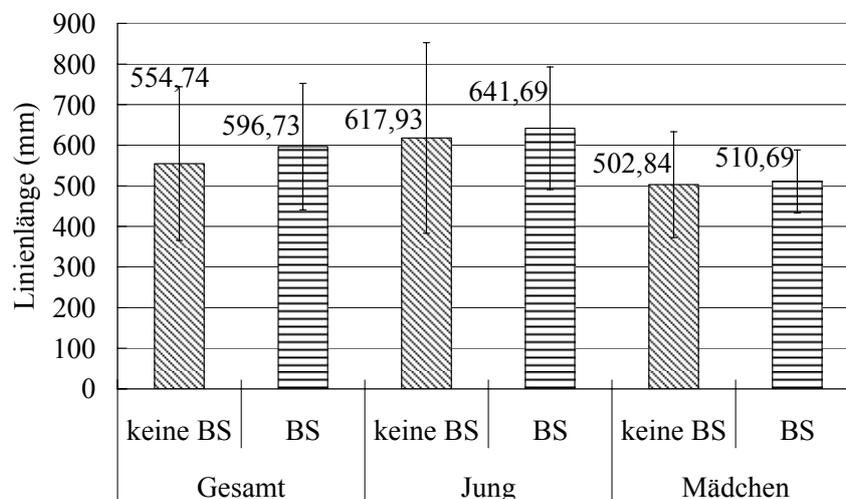


Abb. 4.5 Vergleich der Linienlänge (mm) der Kinder ohne auffällige Beckenstörung (keine BS) mit denen mit auffälliger Beckenstörung (BS) mit geöffneten Augen (Gesamt: $p=0,041$; Jungen: $p=0,157$; Mädchen: $p=0,365$)

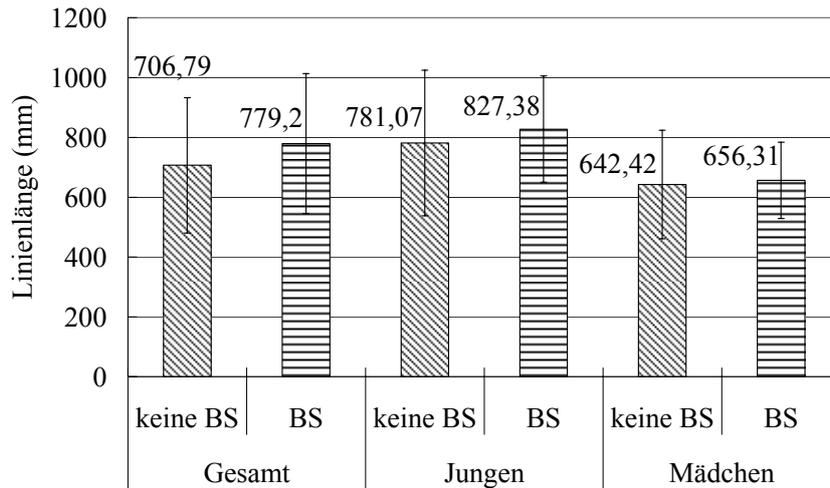


Abb. 4.6 Vergleich der Linienlänge (mm) der Kinder ohne auffällige Beckenstörung (keine BS) mit denen mit auffälliger Beckenstörung (BS) mit geschlossenen Augen (Gesamt: $p=0,082$, Jungen: $p=0,278$, Mädchen: $p=0,578$)

Stationäre Epochen

Der Mittelwert der gesamten „keine auffällige Beckenstörung“-Gruppe bei der stationären Epoche war mit geöffneten Augen von $0,53 \pm 0,22$ (Jungen: $0,6 \pm 0,22$ und Mädchen: $0,48 \pm 0,2$) und mit geschlossenen Augen von $0,75 \pm 0,35$ (Jungen: $0,85 \pm 0,33$ und Mädchen: $0,67 \pm 0,34$). Die gesamte „auffällige Beckenstörung“-Gruppe erreichte mit geöffneten Augen einen stationäre Epoche-Wert von $0,61 \pm 0,22$ (Jungen: $0,71 \pm 0,24$ und Mädchen: $0,5 \pm 0,12$) und mit geschlossenen Augen von $0,86 \pm 0,32$ (Jungen: $0,95 \pm 0,28$ und Mädchen: $0,69 \pm 0,21$). Die „keine auffällige Beckenstörung“-Gruppe zeigte, sowohl mit geöffneten Augen als auch geschlossenen Augen, durchschnittlich geringere Schwankungen als die „auffällige Beckenstörung“-Gruppe (s. Abb. 4.7 und Abb. 4.8).

Mit geöffneten Augen wurde für die gesamte Gruppe ($p=0,051$) kein signifikanter Unterschied zwischen Kindern mit auffälliger Beckenstörung und denen ohne diese festgestellt. Bei Jungengruppe ($p=0,115$) und Mädchengruppe ($p=0,351$) gab es ebenfalls keine Signifikanz mit geöffneten Augen. Auch bei geschlossenen Augen zeigte sich kein signifikanter Unterschied sowohl bei Betrachtung der gesamten Gruppe ($p=0,053$) als auch der Jungengruppe ($p=0,179$) und der Mädchengruppe ($p=0,318$).

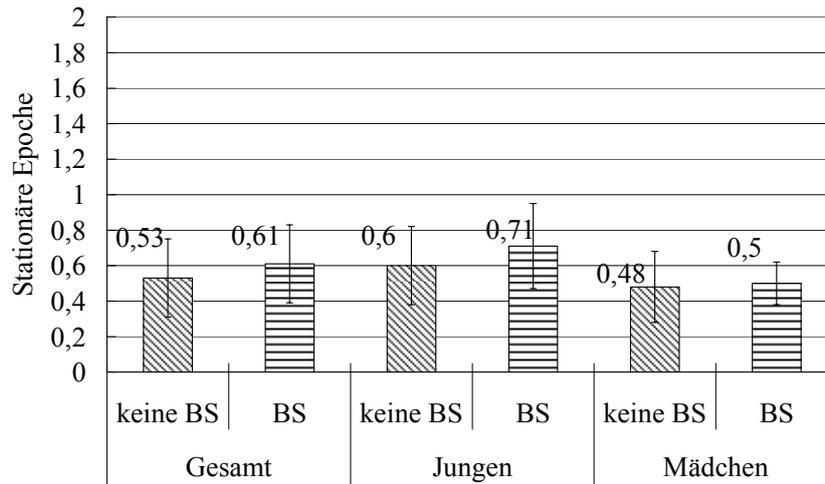


Abb. 4.7 Vergleich der Stationären Epochen der Kinder ohne auffällige Beckenstörung (keine BS) mit denen mit auffälliger Beckenstörung (BS) mit geöffneten Augen (Gesamt: $p=0,051$; Jungen: $p=0,115$; Mädchen: $p=0,351$)

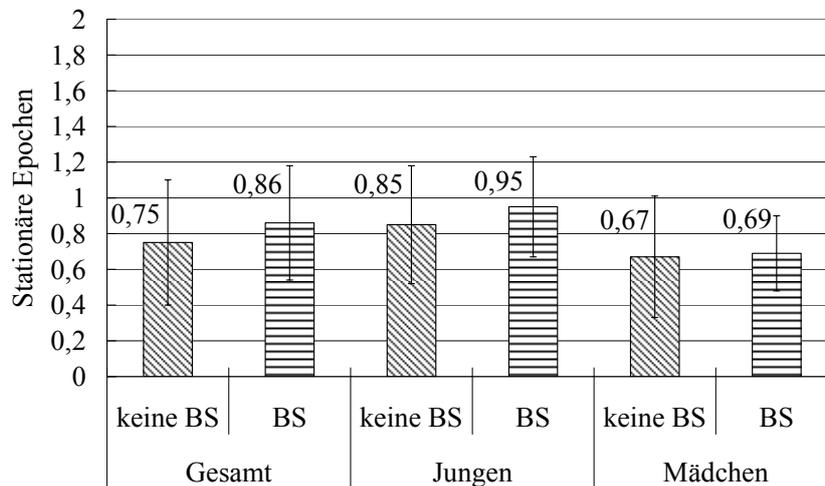


Abb. 4.8 Vergleich der Stationären Epochen der Kinder ohne auffällige Beckenstörung (keine BS) mit denen mit auffälliger Beckenstörung (BS) mit geschlossenen Augen (Gesamt: $p=0,053$; Jungen: $p=0,179$; Mädchen: $p=0,318$)

4.3.2 Beinlängendifferenz

An der Untersuchung der Beinlängendifferenz haben 62 Jungen und 80 Mädchen teilgenommen. 39 Jungen und 62 Mädchen hatten dabei keine auffällige Beinlängendifferenz. Bei 23 Jungen und 18 Mädchen wurde durch die Überprüfung eine Beinlängendifferenz entdeckt.

Linienlänge

Bei der Linienlänge hatten die gesamte „keine auffällige Beinlängendifferenz“-Gruppe mit geöffneten Augen einen durchschnittlichen Wert von 544,83 ±178,33 mm (Jungen: 594,03 ±218,22 mm, Mädchen: 504,03 ±133,94 mm) und mit geschlossenen Augen von 705,91 ±219,33 mm (Jungen: 765,61 ±241,73 mm, Mädchen: 654,03 ±176,89 mm). Die gesamte „auffällige Beinlängendifferenz“-Gruppe erreichte als Linienlänge mit geöffneten Augen 609,52 ±189,29 mm (Jungen: 675 ±205,08 mm, Mädchen: 504,39 ±75,48 mm) sowie mit geschlossenen Augen 760,62 ±249,18 mm (Jungen: 838,83 ±198,35 mm, Mädchen: 613,72 ±160,24 mm) (s. Abb. 4.9 und Abb. 4.10).

Für die Qualität Beinlängendifferenz stellten wir eine Signifikanz bzw. eine tendenzielle Signifikanz zwischen beiden Befundgruppen („keine auffällige Beinlängendifferenz“ vs. „auffällige Beinlängendifferenz“) bei Betrachtung der gesamten Gruppe bzw. in der Jungengruppe mit geöffneten Augen fest (Gesamt: $p=0,012^*$, Jungen: $p=0,03$). Bei der Mädchengruppe zeigte sich keine Signifikanz ($p=0,407$). Auch fanden wir keine Signifikanz zwischen den Gruppen „keine auffällige Beinlängendifferenz“ und „auffällige Beinlängendifferenz“ sowohl in der Gesamt-, in der Jungen- als auch in der Mädchengruppe mit geschlossenen Augen (Gesamt: $p=0,165$, Jungen: $p=0,09$, Mädchen: $p=0,413$).

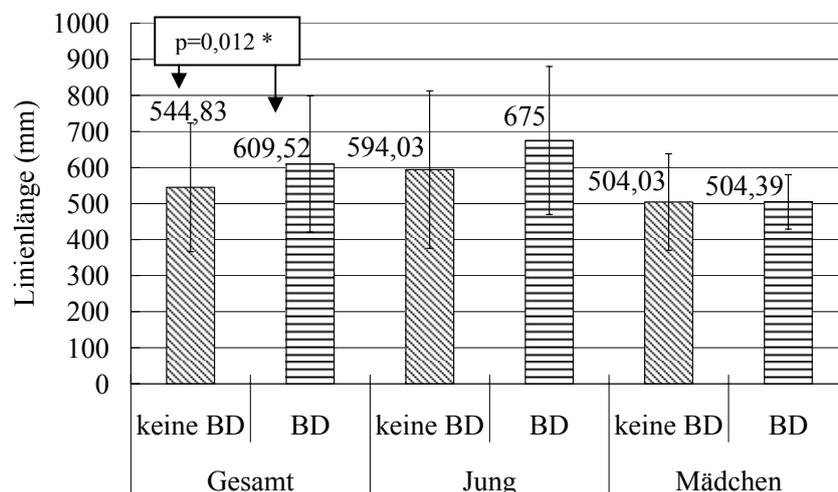


Abb. 4.9 Vergleich der Linienlänge (mm) der Kinder ohne auffällige Beinlängendifferenz (keine BD) mit denen mit auffälliger Beinlängendifferenz (BD) mit geöffneten Augen (Gesamt: $p=0,012^*$, Jungen: $p=0,03$, Mädchen: $p=0,407$)

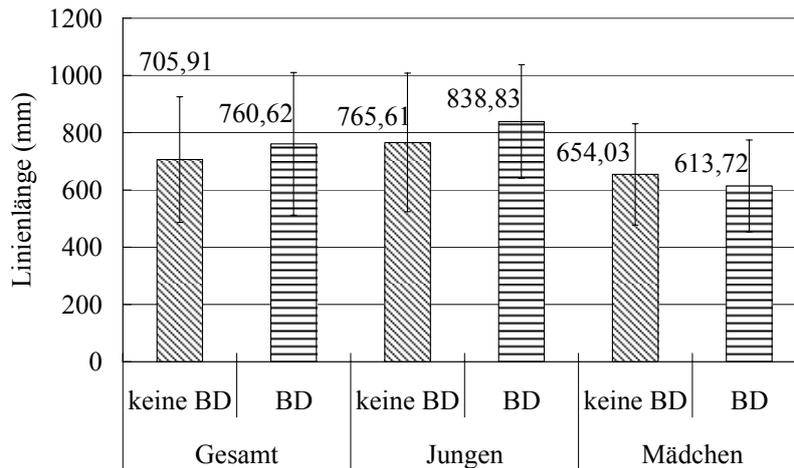


Abb. 4.10 Vergleich der Linienlänge (mm) der Kinder ohne auffällige Beinlängendifferenz (keine BD) mit denen mit auffälliger Beinlängendifferenz (BD) mit geschlossenen Augen (Gesamt: $p=0,165$, Jungen: $p=0,09$, Mädchen: $p=0,413$)

Stationäre Epochen

Die gesamte Gruppe ohne auffällige Beinlängendifferenz hatte mit geöffneten Augen einen stationäre Epoche-Wert von $0,53 \pm 0,22$ (Jungen: $0,57 \pm 0,22$ und Mädchen: $0,48 \pm 0,21$) und mit geschlossenen Augen von $0,76 \pm 0,35$ (Jungen: $0,86 \pm 0,34$ und Mädchen: $0,68 \pm 0,34$). Der Mittelwert der stationären Epoche betrug bei der gesamten Gruppe mit auffälliger Beinlängendifferenz mit geöffneten Augen $0,61 \pm 0,21$ (Jungen: $0,7 \pm 0,23$ und Mädchen: $0,49 \pm 0,11$) sowie mit geschlossenen Augen $0,8 \pm 0,33$ (Jungen: $0,9 \pm 0,3$ und Mädchen: $0,64 \pm 0,26$) (s. Abb. 4.11 und Abb. 4.12).

Das Ergebnis zeigte für die Gesamtgruppe einen signifikanten Unterschied ($p=0,015^*$) in Anhängigkeit vom Beinlängendifferenz-Befund bei Testung mit geöffneten Augen. Es zeigte sich allerdings keine Signifikanz bei geschlechtsspezifischer Betrachtung sowohl der Jungengruppe ($p=0,061$) als auch der Mädchengruppe ($p=0,222$) mit geöffneten Augen. Die für das Balancieren mit geschlossenen Augen ermittelten Mittelwertunterschiede wurden weder für die Gesamt-, die Jungen- noch für die Mädchengruppe signifikant (Gesamt: $p=0,343$, Jungen: $p=0,466$, Mädchen: $p=0,934$).

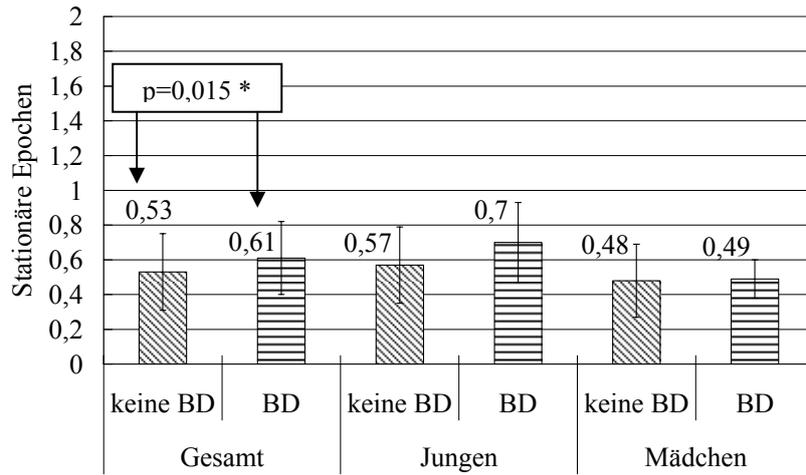


Abb. 4.11 Vergleich der Stationären Epochen der Kinder ohne auffällige Beinlängendifferenz (keine BD) mit denen mit „auffälliger Beinlängendifferenz (BD)“ mit geöffneten Augen (Gesamt: $p=0,015^*$, Jungen: $p=0,061$, Mädchen: $p=0,222$)

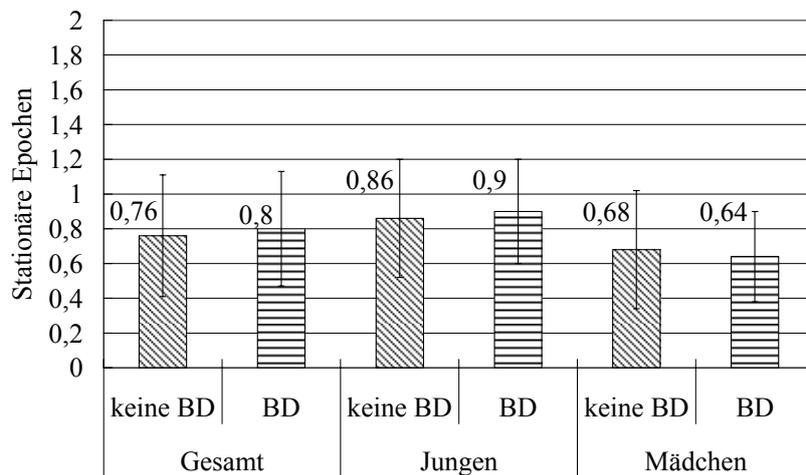


Abb. 4.12 Vergleich der Stationären Epochen der Kinder ohne auffällige Beinlängendifferenz (keine BD) mit denen mit auffälliger Beinlängendifferenz (BD) mit geschlossenen Augen (Gesamt: $p=0,343$, Jungen: $p=0,466$, Mädchen: $p=0,934$)

4.4 Zum Zusammenhang zwischen sensomotorischer posturaler Balancefähigkeit und der Intelligenzleistung

4.4.1 Balancefähigkeit und OHP /OHN

Insgesamt wurde bei 106 Kindern (55 Jungen und 51 Mädchen) der Intelligenztest nach SCHAARSCHMIDT mit den Testmodulen OHP und OHN durchgeführt. Wir versuchten einen Einflussfaktor der großen Altersdifferenz zu vermeiden. Deshalb wurden Probanden (n=76; 40 Jungen und 36 Mädchen) in der Altersgruppe von 42 bis 50 Lebensmonaten ausgewählt.

Objekte-Herauslösen-Positiv (OHP)

Auf Grund der Ergebnisse wurden 25 Probanden in die Gruppe „hoher OHP-Wert“ (davon 13 Jungen im Alter von $44,2 \pm 2,3$ Monaten und 12 Mädchen im Alter von $46 \pm 2,5$ Monaten) eingeordnet. Bei 23 Probanden erfolgte die Zuordnung zur Gruppe „niedriger OHP-Wert“, davon 12 Jungen ($45,9 \pm 2,1$ Monate) und 11 Mädchen ($44,3 \pm 1,7$ Monate). Im Folgenden sollen die gefundenen Balanceparameter dieser beiden Gruppen miteinander verglichen werden.

Linienlänge

Die gesamte „hoher OHP-Wert“-Gruppe wies bei der Linienlänge durchschnittlich $872,6 \pm 242,78$ mm ($950,15 \pm 226,64$ mm für die Jungen und $788,58 \pm 240,32$ mm für die Mädchen) und die gesamte „niedriger OHP-Wert“-Gruppe $815,7 \pm 139,04$ mm ($833,42 \pm 118,21$ mm für die Jungen und $796,36 \pm 162,4$ mm für die Mädchen) auf. Durch den Mann-Whitney-Test wurde kein signifikanter Unterschied ($p=0,765$) zwischen diesen Gruppen festgestellt (s. Abb. 4.13). Aber auch bei geschlechtsspezifischer Betrachtung gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den Extremgruppen des OHP-Tests (bei den Jungen ($p=0,27$) sowie bei den Mädchen ($p=0,608$)).

Die Konfidenzintervalle (95%) der Linienlänge lagen bei der „hoher OHP-Wert“-Gruppe zwischen $772,39$ mm und $972,81$ mm (Jungen: $813,2 \sim 1087,11$ mm; Mädchen: $635,89 \sim 941,27$ mm) und in der „niedriger OHP-Wert“-Gruppe zwischen $768,46$ mm und $885,08$ mm (Jungen: $758,31 \sim 908,53$ mm; Mädchen: $709,96 \sim 927,64$ mm).

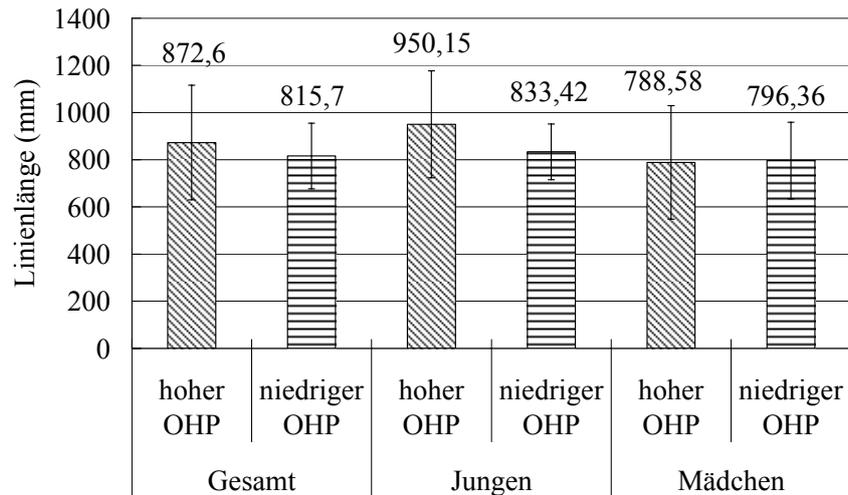


Abb. 4.13 Vergleich der Linienlänge (mm) der „hoher OHP-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=25, Jungen=13, Mädchen=12) und der „niedriger OHP-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=23, Jungen=12, Mädchen=11)

Stationäre Epoche

Für die gesamte „hoher OHP-Wert“-Gruppe ergab sich ein arithmetisches Mittel von $0,65 \pm 0,32$ ($0,77 \pm 0,34$ für die Jungen und $0,51 \pm 0,25$ für die Mädchen) und für die gesamte „niedriger OHP-Wert“-Gruppe von $0,58 \pm 0,18$ ($0,64 \pm 0,16$ für die Jungen und $0,5 \pm 0,18$ für die Mädchen). Die Unterschiede im Vergleich beider Gruppen waren sowohl bezogen auf die Gesamtgruppen als auch geschlechtsspezifisch zufällig (Gesamtgruppenvergleich: $p=0,932$; bei den Jungen $p=0,574$ und bei den Mädchen $p=0,771$). (s. Abb. 4.14)

Die Konfidenzintervalle (95%) der stationären Epochen betragen bei der „hoher OHP-Wert“-Gruppe zwischen $0,51$ und $0,78$ (Jungen: $0,57 \sim 0,97$ mm; Mädchen: $0,35 \sim 0,67$) und bei der „niedriger OHP-Wert“-Gruppe zwischen $0,5$ und $0,66$ (Jungen: $0,54 \sim 0,74$; Mädchen: $0,37 \sim 0,63$).

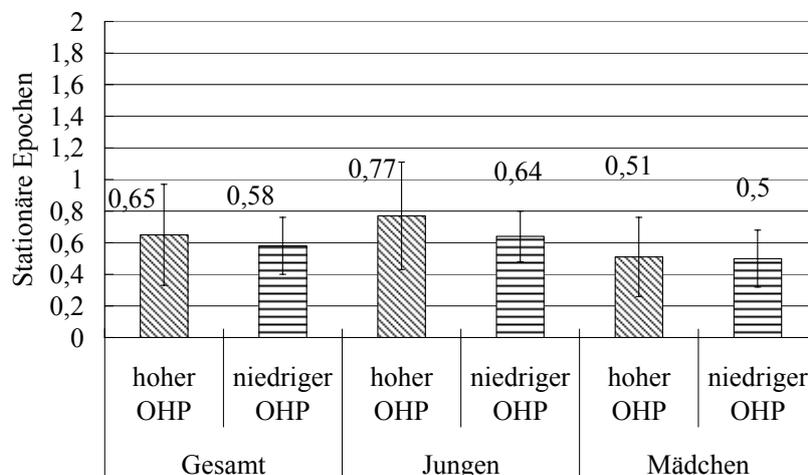


Abb. 4.14 Vergleich der stationären Epochen der „hoher OHP-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=25, Jungen=13, Mädchen=12) und der „niedriger OHP-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=23, Jungen=12, Mädchen=11)

Objekte-Herauslösen-Negativ

Von den untersuchten Probanden waren 25 in der „hoher OHN-Wert“-Gruppe (13 Jungen und 12 Mädchen) und 24 in der „niedriger OHN-Wert“-Gruppe (13 Jungen und 11 Mädchen) zugeordnet worden.

Linienlänge

Die Linienlänge der gesamten „hoher OHN-Wert“-Gruppe betrug durchschnittlich $808,04 \pm 216,77$ mm (Jungen: $892,54 \pm 252,48$ mm, Mädchen: $716,5 \pm 124,1$), die der gesamten „niedriger OHN-Wert“-Gruppe durchschnittlich $894,21 \pm 235,28$ mm (Jungen: $894,08 \pm 235,89$ mm, Mädchen: $894,36 \pm 246,05$ mm).

Die gefundenen Differenzen zwischen beiden Gruppen waren durchgängig nicht signifikant, sowohl bei Betrachtung der Gesamtgruppe ($p=0,059$) also auch in der Jungengruppe ($p=0,724$) bzw. in der Mädchengruppe ($p=0,044$). (s. Abb. 4.15)

Die Konfidenzintervalle (95%) der Linienlänge lagen in der „hoher OHN-Wert“-Gruppe zwischen $718,56$ mm und $897,52$ mm (Jungen: $739,96\sim 1045,11$ mm; Mädchen: $637,65\sim 795,35$ mm) und in der „niedriger OHP-Wert“-Gruppe zwischen $808,71$ mm und $1007,72$ mm (Jungen: $751,53\sim 1036,63$ mm; Mädchen: $759,5\sim 1093,7$ mm).

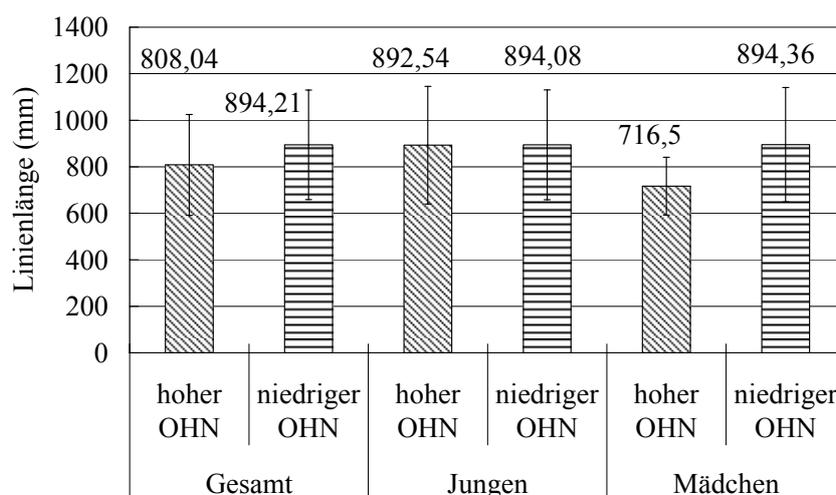


Abb. 4.15 Vergleich der Linienlänge (mm) der „hoher OHN-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=25, Jungen= 13, Mädchen=12) und der „niedriger OHN-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=24, Jungen= 13, Mädchen=11)

Stationäre Epochen

Der Parameter für die stationäre Epochen beträgt in der gesamten „hoher OHN-Wert“-Gruppe $0,55 \pm 0,23$ ($0,63 \pm 0,26$ für die Jungen; $0,46 \pm 0,17$ für die Mädchen) und in der gesamten „niedriger OHN-Wert“-Gruppe $0,64 \pm 0,25$ ($0,67 \pm 0,27$ für die Jungen, $0,46 \pm 0,17$ für die Mädchen). Bei diesem Parameter bedeuten niedrige Werte eine bessere Balance. Daher deuten die Mittelwerte der stationären Epochen darauf hin, dass die Kinder, die beim OHN-Untertest gut abschnitten („hoher OHN-Wert“-Gruppe) im Vergleich mit den dort schwächer abscheidenden Kindern („niedriger OHN-Wert“-Gruppe) auch eine bessere Balanceleistung zeigten. Allerdings war auch dieser Unterschied statistisch nicht hinreichend zu sichern. Dies gilt sowohl für die gesamte Gruppe ($p=0,235$) als auch für die Jungen ($p=0,88$) bzw. Mädchen ($p=0,14$) (s. Abb. 4.16).

Die Konfidenzintervalle (95%) der stationären Epochen lagen in der „hoher OHN-Wert“-Gruppe zwischen 0,45 und 0,65 (Jungen: 0,48~0,79 mm; Mädchen: 0,35~0,57) und in der „niedriger OHN-Wert“-Gruppe zwischen 0,53 und 0,75 (Jungen: 0,51~0,83; Mädchen: 0,43~0,76).

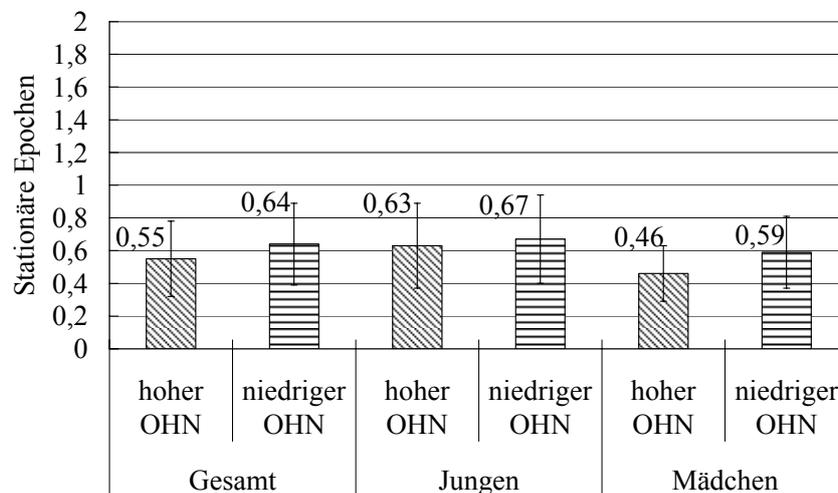


Abb. 4.16 Vergleich der stationären Epochen der „hoher OHN-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=25, Jungen=13, Mädchen=12) und der „niedriger OHN-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=24, Jungen=13, Mädchen=11)

4.4.2 Balancefähigkeit und WBP/WBN

Beim Wort-Bild-Vergleich-Positiv Test (WBP) sowie beim Wort-Bild-Vergleich-Negativ Test (WBN) wurden 68 Kinder (35 Jungen und 33 Mädchen) in der Altersgruppe von 45 bis 56 Lebensmonaten untersucht.

Wort-Bild-Vergleich-Positiv (WBP)

23 Kinder ordneten wir in die gesamte Gruppe für „hoher WBP-Wert“ (12 Jungen und 11 Mädchen) und 23 Kinder in die gesamte Gruppe für „niedriger WBP-Wert“ (12 Jungen und 11 Mädchen) ein.

Linienlänge

Bei der Linienlänge erreichte die gesamte „hoher WBP-Wert“-Gruppe 881,36 \pm 271,68 mm (Jungen: 889,83 \pm 306,83 mm; Mädchen: 871,2 \pm 238,65 mm). Für die gesamte „niedriger WBP-Wert“-Gruppe ermittelten wir mit durchschnittlich 894,35 \pm 212,45 mm (Jungen: 941,91 \pm 226,55 mm, Mädchen: 836,22 \pm 190,07 mm) nur geringfügig darüber liegende Werte. Obwohl die Kinder mit hohem WBP-Wert in der gesamten Gruppe und der Jungengruppe kürzere Linienlängen als die Kinder mit niedrigem WBP-Wert hatten, gab es keine Signifikanz (Gesamt: $p=0,606$, Jungen: $p=0,413$). Im Gegensatz dazu zeigten die Mädchen mit hohem WBP-Wert eine größere durchschnittliche Linienlänge als die Mädchen, die im WBP-Untertest schlecht abgeschnitten hatten. Jedoch muss dies angesichts einer Irrtumswahrscheinlichkeit von über 90 % als völlig zufällig angesehen werden ($p=0,905$). (s. Abb. 4.17)

Die Konfidenzintervalle (95%) der Linienlänge lagen in der „hoher WBP-Wert“-Gruppe zwischen 760,91 mm und 1001,82 mm (Jungen: 694,88~1084,78 mm; Mädchen: 700,48~1041,92 mm) und in der „niedriger WBP-Wert“-Gruppe zwischen 790,75 mm und 1001,04 mm (Jungen: 779,85~1119,35 mm; Mädchen: 690,12~982,32 mm).

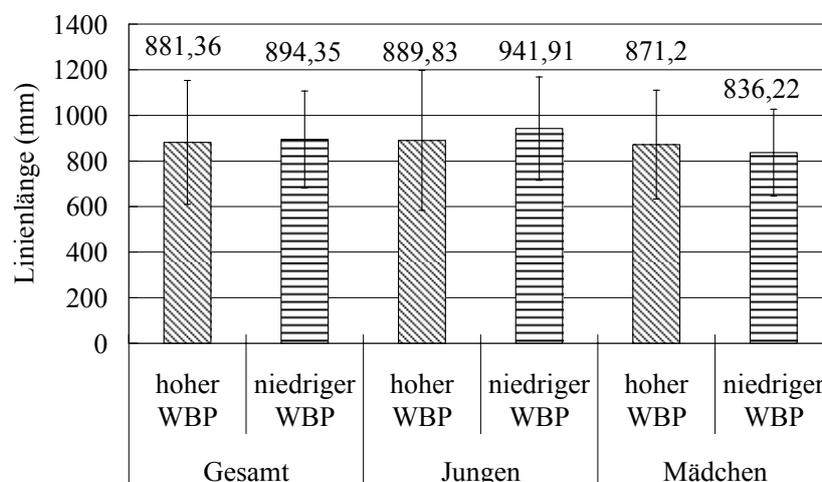


Abb. 4.17 Vergleich der Linienlänge (mm) der „hoher WBP-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=22, Jungen=12, Mädchen=10) und der „niedriger WBP-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=20, Jungen=11, Mädchen=9)

Stationäre Epoche

Der Wert für die stationären Epochen beträgt in der gesamten „hoher WBP-Wert“-Gruppe $0,68 \pm 0,31$ ($0,74 \pm 0,38$ für die Jungen; $0,61 \pm 0,19$ für die Mädchen) und in der gesamten „niedriger WBP-Wert“-Gruppe $0,66 \pm 0,26$ ($0,77 \pm 0,23$ für die Jungen; $0,52 \pm 0,24$ für die Mädchen) (s. Abb. 4.18).

Da die Mittelwerte sehr dicht beieinander liegen war angesichts der vergleichsweise geringen Probandenzahl nicht zu erwarten, dass der Unterschied statistisch zu sichern sein würde, was die ermittelten Werte (gesamte Gruppe: $p=0,979$; Mädchen: $p=0,133$ und Jungen: $p=0,314$) im Vergleich beider Gruppen bestätigen.

Die Konfidenzintervalle (95%) des Parameters der stationären Epochen lagen in der „hoher WBP-Wert“-Gruppe zwischen 0,54 und 0,82 (Jungen: 0,49~0,98 mm; Mädchen: 0,48~0,75) und in der „niedriger WBP-Wert“-Gruppe zwischen 0,53 und 0,78 (Jungen: 0,61~0,94; Mädchen: 0,34~0,71).

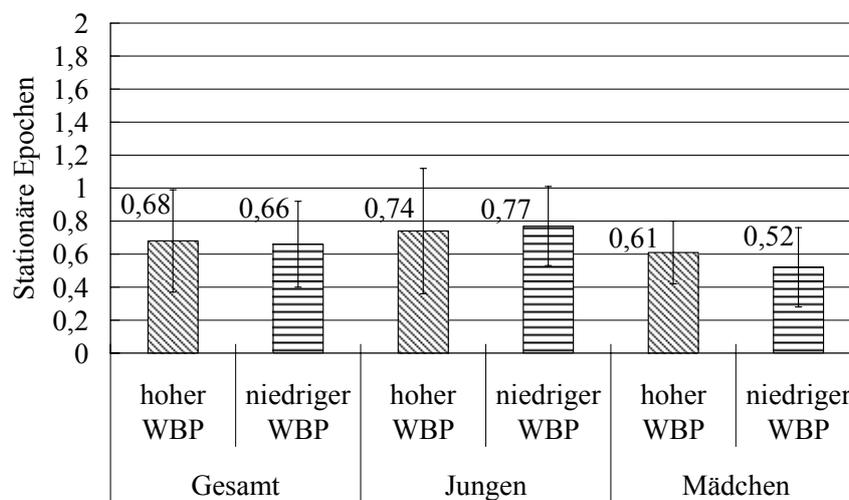


Abb. 4.18 Vergleich der stationären Epochen der „hoher WBP-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=22, Jungen=12, Mädchen=10) und der „niedriger WBP-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=20, Jungen=11, Mädchen=9)

Wort-Bild-Vergleich-Negativ (WBN)

Insgesamt nahmen 68 Probanden (35 Jungen und 33 Mädchen) am Wort-Bild-Vergleich-Negativ Test teil. Davon wurden 22 Probanden der „hoher WBN-Wert“-Gruppe (12 Jungen und 10 Mädchen) und 21 Probanden der „niedriger WBN-Wert“-Gruppe (12 Jungen und 9 Mädchen) zugeordnet.

Linienlänge

Der Mittelwert der Linienlänge betrug in der gesamten „hoher WBN-Wert“-Gruppe 812,73 ±196,11 mm (Jungen: 829 ±236,15 mm und Mädchen: 793,2 ±144,24 mm), wogegen dieser in der gesamten „niedriger WBN-Wert“-Gruppe mit 960,9 ±278,56 mm (Jungen: 952,75 ±259,37 mm und Mädchen: 971,78 ±318,22 mm) deutlich höher lag. (s. Abb. 4.19) Es zeigte sich allerdings keine statistische Signifikanz im Vergleich der WBN-Extremgruppen sowohl in der gesamten Gruppe ($p=0,025$ *), als auch bei den Jungen ($p=0,045$) bzw. den Mädchen ($p=0,4$). Jedoch fällt auf, dass das Signifikanzniveau in der Gesamtgruppe nur äußerst knapp verfehlt wird und auch bei den Jungen eine vergleichsweise geringe Irrtumswahrscheinlichkeit vorliegt.

Die Konfidenzintervalle (95%) der Linienlänge lagen in der „hoher WBN-Wert“-Gruppe zwischen 725,78 mm und 899,68 mm (Jungen: 678,96~979,04 mm; Mädchen: 690,02~896,38 mm) und in der „niedriger WBN-Wert“-Gruppe zwischen 832,36 mm und 1099,04 mm (Jungen: 779,02~1142,44 mm; Mädchen: 727,17~1216,38 mm).

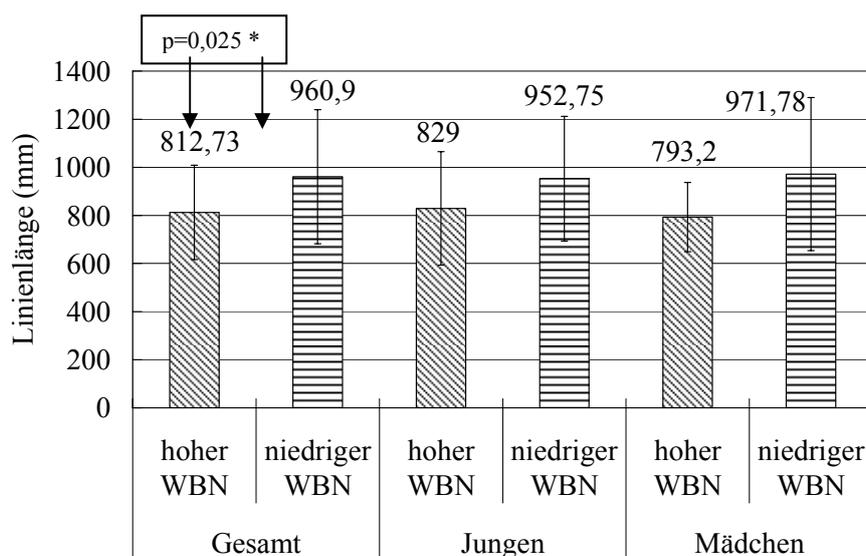


Abb. 4.19 Linienlängen (mm) im Vergleich der WBN-Extremgruppen („hoher WBN-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=22, Jungen=12, Mädchen=10) und der „niedriger WBN-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=21, Jungen=12, Mädchen=9)

Stationäre Epochen

Dieser Wert der nichtlinearen Analytik betrug bei den Kindern des oberen Leistungsdrittels dieses WBN-Untertests für die gesamte Gruppe $0,62 \pm 0,27$ ($0,66 \pm 0,34$ für die Jungen und $0,57 \pm 0,16$ für die Mädchen), während die Kinder des schwächsten Leistungsdrittels bei $0,71 \pm 0,21$ ($0,75 \pm 0,14$ für die Jungen und $0,67 \pm 0,28$ für die Mädchen) lagen (s. Abb. 4.20). Dies deutet auf höhere Korrekturaktivitäten bei den Kindern mit niedrigerem WBN-Wert hin. Dieser tendenzielle statistische Unterschied konnte jedoch sowohl für die gesamte Gruppe ($p=0,087$) als auch für die Jungen ($p=0,118$) nicht gesichert werden. Die Irrtumswahrscheinlichkeit weist bei den Mädchen auf eine weitgehende Zufallsverteilung hin ($p=0,72$).

Die Konfidenzintervalle (95%) des Parameters der stationären Epochen lagen in der „hoher WBN-Wert“-Gruppe zwischen 0,5 und 0,74 (Jungen: 0,44~0,88 mm; Mädchen: 0,46~0,68) und in der „niedriger WBN-Wert“-Gruppe zwischen 0,61 und 0,81 (Jungen: 0,66~0,85; Mädchen: 0,45~0,88).

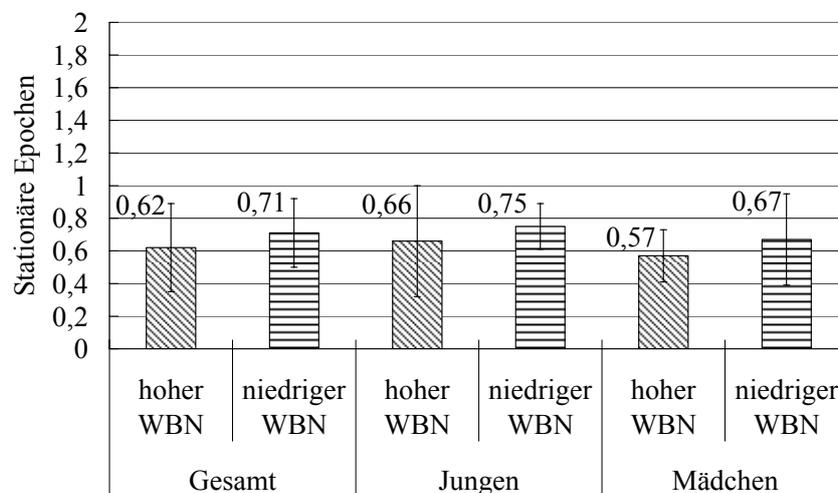


Abb. 4.20 Vergleich der Werte der stationären Epochen der „hoher WBN-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=22, Jungen=12, Mädchen=10) und der „niedriger WBN-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=21, Jungen=12, Mädchen=9)

4.4.3 Balancefähigkeit und GF/RF

Der Geschichten-Folgen-Test (GF) sowie der Reihen-Fortsetzen-Test (RF) wurden bei 58 Probanden (24 Jungen und 34 Mädchen) durchgeführt. Die Probanden waren in der Altersgruppe von 66 bis 77 Lebensmonaten.

Vergleich mit Geschichten-Folgen Test (GF)

Bei dem GF haben 19 Probanden „hoher GF-Wert“ (8 Jungen und 11 Mädchen) erreicht und 19 Probanden waren erreichten „niedriger GF-Wert“ Niveau (8 Jungen und 11 Mädchen).

Linienlänge

Damit betrug die Linienlänge bei den Kindern mit hohem GF-Wert mit geöffneten Augen 534,68 ±107,23 mm (Jungen: 577,88 ±139,77 mm; Mädchen: 503,27 ±66,66 mm) und mit geschlossenen Augen 690,74 ±161,96 mm (Jungen: 751,25 ±171,01 mm; Mädchen: 646,73 ±147,25 mm). In der Gruppe mit niedrigem GF-Wert wurde demgegenüber bei geöffneten Augen eine Linienlänge von 567,47 ±244,93 mm (Jungen: 624,63 ±359,43 mm; Mädchen: 525,91 ±114,2 mm) sowie bei geschlossenen Augen von 731,84 ±247,37 mm (Jungen: 816,5 ±301,58 mm; Mädchen: 670,27 ±191,24 mm) ermittelt.

Obwohl auch hier die Linienlänge der im GF-Test besseren Kinder durchschnittlich kürzer ausfiel als bei den Kindern des hinteren Drittels - sowohl bei der Gesamtgruppe als auch bei Jungen und Mädchen und sowohl mit geöffneten als auch mit geschlossenen Augen, zeigte sich auch hier keinerlei Signifikanz (Augen geöffnet: Gesamt: $p=0,931$, Jungen: $p=0,442$, Mädchen: $p=0,606$; Augen geschlossen: Gesamt: $p=0,729$, Jungen: $p=0,798$, Mädchen: $p=0,652$). (s. Abb. 4.21 und Abb. 4.22)

Die Konfidenzintervalle (95%) der Linienlänge lagen in der „hoher GF-Wert“-Gruppe mit geöffneten Augen zwischen 488,97 mm und 587,93 mm (Jungen: 461,02~694,73 mm; Mädchen: 458,49~548,05 mm) und in der „niedriger GF-Wert“-Gruppe zwischen 449,42 mm und 685,53 mm (Jungen: 324,13~925,12 mm; Mädchen: 449,19~602,63 mm).

Beim Test mit geschlossenen Augen lagen die Konfidenzintervalle (95%) der Linienlänge in der „hoher GF-Wert“-Gruppe zwischen 609,52 mm und 743,32 mm (Jungen: 587,57~829,57 mm; Mädchen: 547,8~745,65 mm) und in der „niedriger GF-Wert“-Gruppe zwischen 612,61 mm und 851,07 mm (Jungen: 564,37~1068,63 mm; Mädchen: 541,79~798,75 mm).

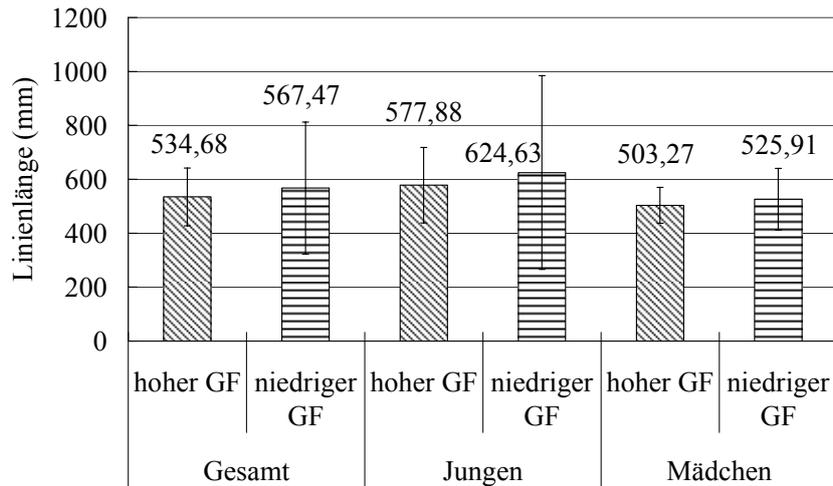


Abb. 4.21 Linienlänge (mm) im Vergleich der „hoher GF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit der „niedriger GF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit geöffneten Augen

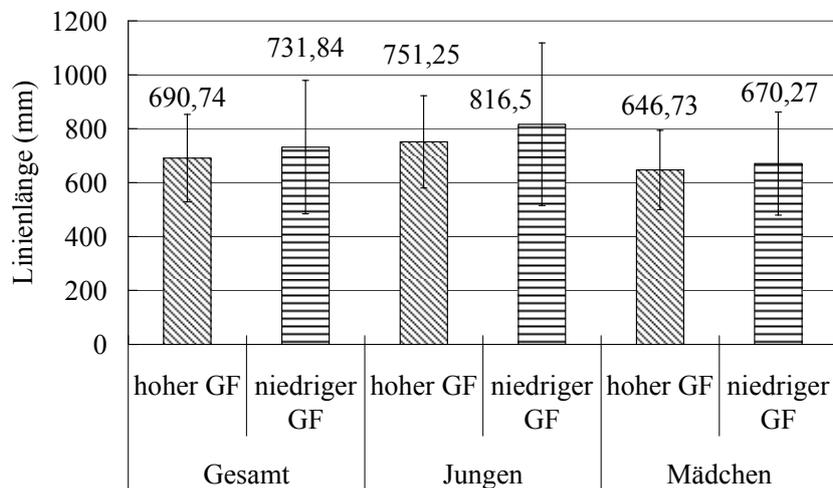


Abb. 4.22 Linienlänge (mm) im Vergleich der „hoher GF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) und der „niedriger GF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit geschlossenen Augen

Stationäre Epochen

Die gesamte „hoher GF-Wert“-Gruppe erreichte mit geöffneten Augen einen arithmetischen Mittelwert von $0,53 \pm 0,2$ (Jungen: $0,6 \pm 0,25$ und Mädchen: $0,47 \pm 0,13$) und mit geschlossenen Augen von $0,75 \pm 0,3$ (Jungen: $0,74 \pm 0,21$ und Mädchen: $0,75 \pm 0,35$). Die gesamte „niedriger GF-Wert“-Gruppe lag hier mit $0,57 \pm 0,24$ (Jungen: $0,66 \pm 0,28$ und Mädchen: $0,5 \pm 0,19$) bei geöffneten Augen und $0,83 \pm 0,39$ (Jungen: $1,05 \pm 0,38$ und Mädchen: $0,67 \pm 0,32$) bei geschlossenen Augen wiederum höher und damit schlechter (s. Abb 4.23 und Abb. 4.24). Allerdings lassen sich diese Unterschiede angesichts der hohen Irrtumswahrscheinlichkeiten keinesfalls sichern (geöffnete Augen: Gesamt: $p=0,885$; Jungen:

p=0,959; Mädchen: p=1,0; geschlossene Augen: Gesamt: 0,685; Jungen: p=0,054; Mädchen: p=0,652.

Die Konfidenzintervalle (95%) des Parameters der stationären Epochen lagen in der „hoher GF-Wert“-Gruppe mit geöffneten Augen zwischen 0,44 und 0,62 (Jungen: 0,39~0,81; Mädchen: 0,38~0,56) und in der „niedriger GF-Wert“-Gruppe zwischen 0,57 und 0,45 (Jungen:0,42~0,9; Mädchen: 0,38~0,62). Beim Test mit geschlossenen Augen erstreckte sich der Konfidenzintervall (95%) des Parameters der stationären Epochen bei Kindern mit hohem GF-Wert zwischen 0,61 und 0,89 (Jungen: 0,55~0,94; Mädchen: 0,52~0,99) und bei Kindern mit niedrigem GF-Wert zwischen 0,65 und 1,02 (Jungen: 0,74~1,37; Mädchen: 0,45~0,89).

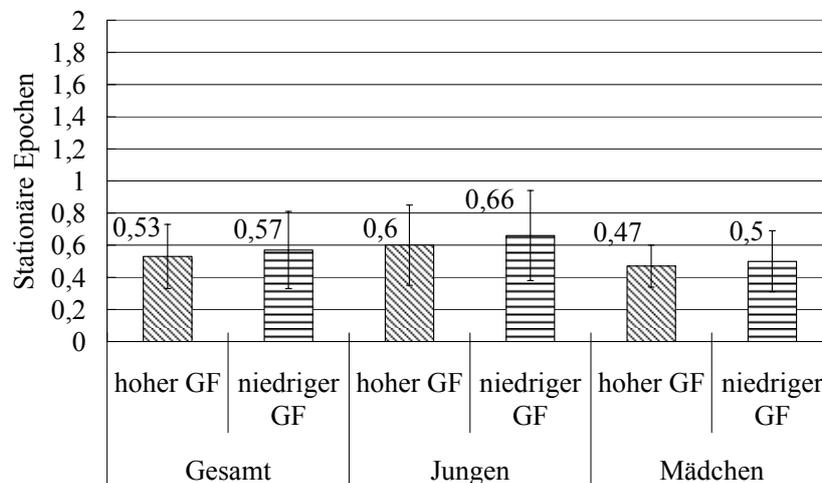


Abb. 4.23 Stationäre Epochen im Vergleich der „hoher GF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit der „niedriger GF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit geöffneten Augen

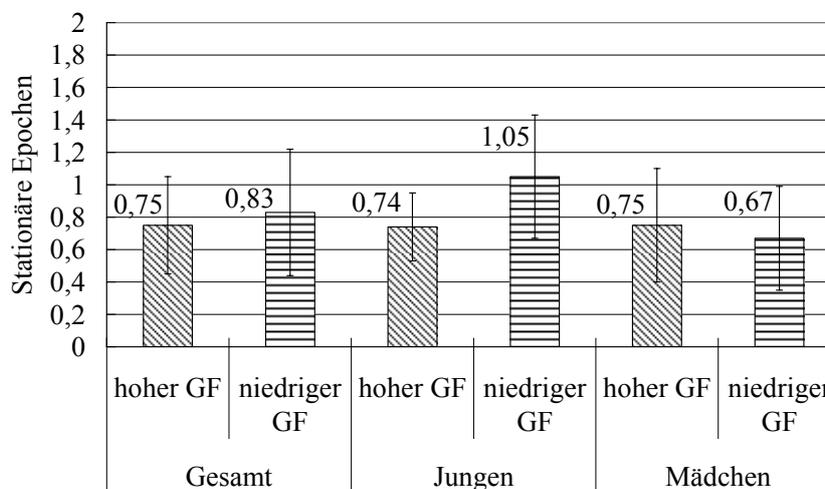


Abb. 4.24 Stationäre Epochen im Vergleich der „hoher GF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit der „niedriger GF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit geschlossenen Augen

Vergleich mit dem Reihen-Fortsetzen-Test (RF)

Bei RF-Test wurden 58 Kinder (24 Jungen und 34 Mädchen) in der Altersgruppe von 66 bis zum 77 Lebensmonaten untersucht. Auch hier wurden wieder das beste und das schlechteste Perzentilendrittel zum Vergleich mit der posturalen Balance herangezogen. Beide Drittel (jeweils 19 Kinder) setzten sich jeweils aus 8 Jungen und 11 Mädchen zusammen.

Linienlänge

Der Mittelwert der Linienlänge der gesamten „hoher RF-Wert“-Gruppe betrug mit geöffneten Augen 522,84 ±80,96 mm (Jungen: 539,38 ±74,39 mm, Mädchen: 510,82 ±86,87 mm) und mit geschlossenen Augen 691,11 ±121,79 mm (Jungen: 700,5 ±136,89 mm, Mädchen: 684,27 ±116,02 mm). Die gesamte „niedriger RF-Wert“-Gruppe erreichte bei der Linienlänge mit geöffneten Augen durchschnittlich 513,95 ±82,47 mm (Jungen: 532,63 ±57,9 mm, Mädchen: 500,36 ±97,03 mm) sowie mit geschlossenen Augen 681,68 ±179,62 mm (Jungen: 751,75 ±168,79 mm, Mädchen: 630,73 ±177,06 mm).

Die arithmetischen Mittelwerte beider Gruppen differierten - sowohl bezogen auf die Gesamtgruppen als auch geschlechtsspezifisch - nur geringfügig und zum Teil im Vergleich der Geschlechter gegenläufig. (s. Abb. 4.25 und Abb. 4.26) Wie die Irrtumswahrscheinlichkeiten zeigen, liegen sie auch weit von Signifikanzen entfernt (Überprüfung mit geöffneten Augen: Gesamt: $p=0,665$; Jungen: $p=0,959$; Mädchen: $p=0,562$; mit geschlossenen Augen: Gesamt: $p=0,885$; Jungen: $p=0,328$; Mädchen: $p=0,562$).

Der Konfidenzintervall (95%) der Linienlänge lag in der „hoher RF-Wert“-Gruppe mit geöffneten Augen zwischen 483,82 mm und 561,86 mm (Jungen: 477,18~601,57 mm; Mädchen: 452,46~569,18 mm) und in der „niedriger RF-Wert“-Gruppe zwischen 474,2 mm und 553,7 mm (Jungen: 484,22~581,03 mm; Mädchen: 435,18~565,55 mm).

Beim Test mit geschlossenen Augen erstreckte sich der Konfidenzintervall (95%) der Linienlänge in der „hoher RF-Wert“-Gruppe zwischen 632,4 mm und 749,81 mm (Jungen: 586,06~814,94 mm; Mädchen: 606,33~762,22 mm) sowie in der „niedriger RF-Wert“-Gruppe zwischen 595,11 mm und 768,26 mm (Jungen: 610,63~892,87 mm; Mädchen: 511,78~749,68 mm).

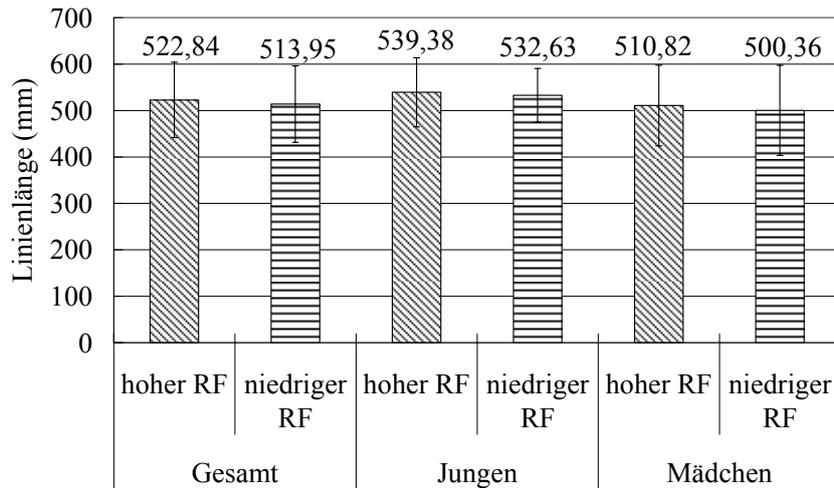


Abb. 4.25 Linienlänge (mm) im Vergleich der „hoher RF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit der „niedriger RF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit geöffneten Augen

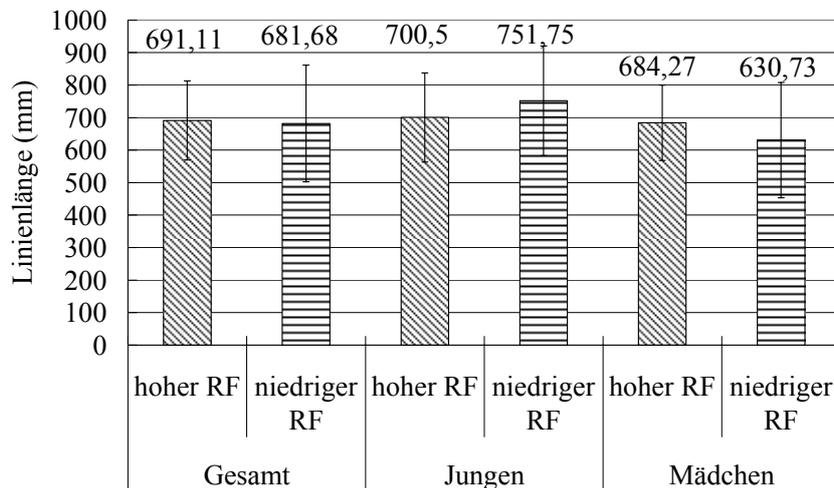


Abb. 4.26 Linienlänge (mm) im Vergleich der „hoher RF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit der „niedriger RF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit geschlossenen Augen

Stationäre Epochen

Die gesamte Gruppe der Kinder mit hohem RF-Wert hatte einen Mittelwert für die stationären Epochen mit geöffneten Augen von $0,54 \pm 0,15$ (Jungen: $0,54 \pm 0,18$; Mädchen: $0,54 \pm 0,17$) und mit geschlossenen Augen von $0,77 \pm 0,26$ (Jungen: $0,73 \pm 0,26$; Mädchen: $0,8 \pm 0,27$). Die gesamte Gruppe der Kinder mit niedrigem RF-Wert erreichte mit geöffneten Augen eine Wert für die stationäre Epochen von $0,54 \pm 0,15$ (Jungen: $0,64 \pm 0,17$; Mädchen: $0,47 \pm 0,09$) und mit geschlossenen Augen von $0,82 \pm 0,32$ (Jungen: $0,95 \pm 0,28$; Mädchen: $0,72 \pm 0,32$) (s. Abb. 4.27 und Abb. 4.28).

Mit Ausnahme der Jungen beim Test mit geschlossenen Augen ($p=0,028$) lagen alle Signifikanzprüfungen weit weg vom definierten Signifikanzniveau (mit geöffneten Augen: Gesamt: $p=0,817$; Jungen: $p=0,382$; Mädchen: $p=0,243$; mit geschlossenen Augen: Gesamt: $p=0,583$; Jungen: $p=0,028$, Mädchen: $p=0,438$). Das Ergebnis bei den Jungen verfehlt allerdings diese Schwelle knapp.

Die Konfidenzintervalle (95%) des Parameters der stationären Epochen lagen in der „hoher RF-Wert“-Gruppe mit geöffneten Augen zwischen 0,47 und 0,62 (Jungen: 0,39~0,69; Mädchen: 0,45~0,64), in der „niedriger RF-Wert“-Gruppe zwischen 0,47 und 0,61 (Jungen: 0,49~0,78; Mädchen: 0,41~0,53).

Beim Test mit geschlossenen Augen erstreckten sich die Konfidenzintervalle (95%) des Werts für die stationären Epochen in der „hoher RF-Wert“-Gruppe zwischen 0,65 und 0,9 (Jungen: 0,52~0,95; Mädchen: 0,61~0,98) und in der „niedriger RF-Wert“-Gruppe zwischen 0,66 und 0,97 (Jungen: 0,71~1,19; Mädchen: 0,5~0,93).

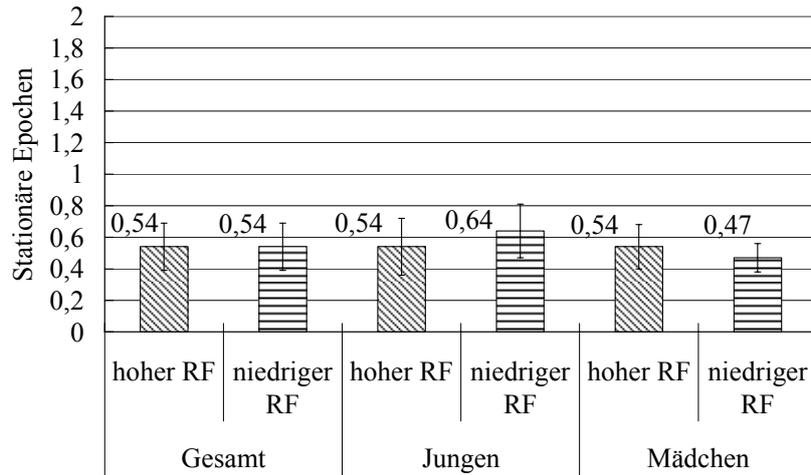


Abb. 4.27 Wert für stationären Epochen im Vergleich der „hoher RF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit der „niedriger RF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit geöffneten Augen

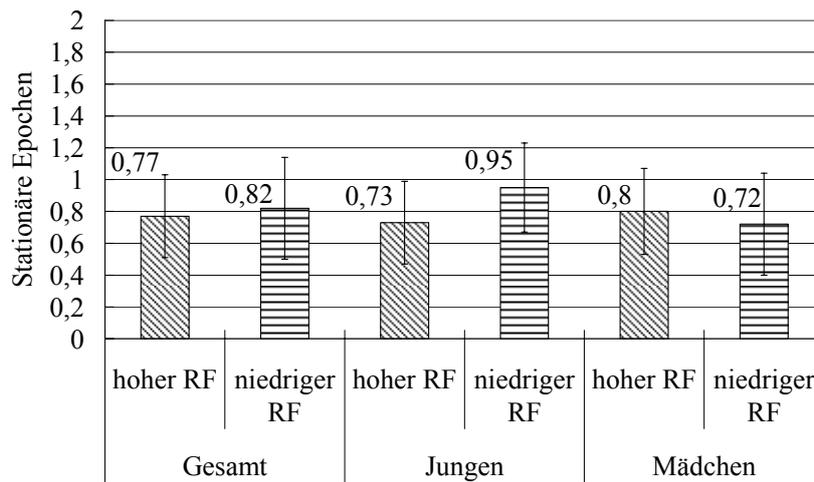


Abb. 4.28 Wert für die stationären Epochen im Vergleich der „hoher RF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) und der „niedriger RF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit geschlossenen Augen

4.5 Einbein-Balancetest und Intelligenzwert von GF/RF

Der Einbein-Balancetest wurde bei 6-jährigen Kindern durchgeführt. Insgesamt nahmen 60 Kinder (26 Jungen und 34 Mädchen) am Test teil. Als Präferenzbein (dieses wurde intuitiv zuerst als Standbein eingesetzt) nutzten 24 Probanden (10 Jungen und 14 Mädchen) das rechte Bein und 36 Probanden (16 Jungen und 20 Mädchen) das linke Bein.

Einbein-Balancetest auf dem Präferenzbein

In dieser Untersuchung wurden 22 Probanden der „gute Balance“-Gruppe (8 Jungen und 14 Mädchen) und 18 Probanden der „schlechte Balance“-Gruppe (8 Jungen und 10 Mädchen) zugeordnet. In der „gute Balance“-Gruppe verteilten 4 Jungen und 5 Mädchen sich bezüglich der Präferenz auf das rechte sowie 4 Jungen und 9 Mädchen auf das linke Bein. In der „schlechte Balance“-Gruppe hatten 2 Jungen und 3 Mädchen die Präferenz auf dem rechten und 6 Jungen sowie 7 Mädchen auf dem linken Bein.

Der arithmetische Mittelwert des GF-T-Werts beträgt bei den Jungen mit guter Balance $57,75 \pm 9,36$ und bei den Jungen mit schlechter Balance $45,13 \pm 8,04$. Bei den Mädchen mit guter Balance zeigte sich ein T-Wert von durchschnittlich $60,57 \pm 7,27$ und bei den Mädchen mit schlechter Balance von $45,1 \pm 3,38$. Zwar verhalten sich die Parameter im Trend der Mittelwerte entsprechend der Hypothese, jedoch wird bei den Jungen kein hinreichendes Signifikanzniveau erreicht. Dagegen ist die deutliche Differenz bei den Mädchen höchstsignifikant ($p=0,000$ ***) (s. Abb. 4.29).

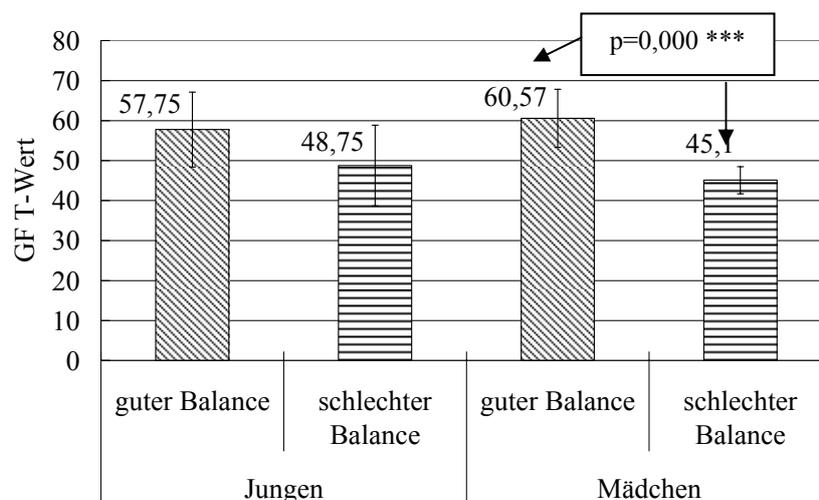


Abb. 4.29 T-Wert (GF) im Vergleich der „gute Balance“-Gruppe (n: Jungen=8, Mädchen=14) mit der „schlechte Balance“-Gruppe (n: Jungen=8, Mädchen=10) beim Einbeinstandtest (Präferenzbein)

Der RF-*T-Wert* lag bei den Jungen mit guter Balance durchschnittlich bei $51,75 \pm 8,53$ sowie bei den Jungen mit schlechter Balance bei $50,25 \pm 6,56$. Die Mädchen mit guter Balance hatten einen Mittelwert von $47,07 \pm 5,61$, die Mädchen mit schlechter Balance $44,6 \pm 6,93$ (s. Abb. 4.30).

In Bezug auf den RF-Test zeigte sich kein statistisch bedeutsamer Unterschied. Dies gilt sowohl für die Jungen ($p=0,878$) als auch für die Mädchen ($p=0,212$).

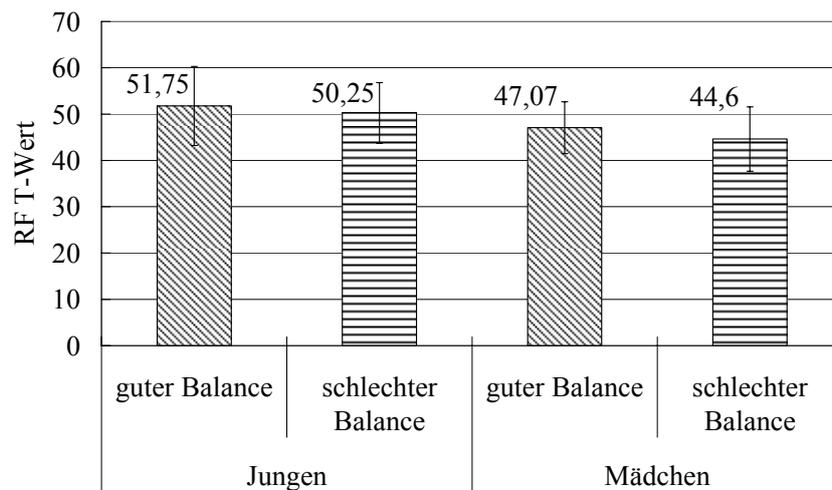


Abb. 4.30 T-Wert (RF) im Vergleich der „gute Balance“-Gruppe (n: Jungen=8, Mädchen=14) mit der „schlechte Balance“-Gruppe (n: Jungen=8, Mädchen=10) beim Einbeinstandtest (Präferenzbein)

Einbein-Balancetest auf dem Nicht-Präferenzbein

Im „Einbein-Balancetest auf dem Nicht-Präferenzbein“ ordneten wir 19 Probanden (7 Jungen und 12 Mädchen) der Gruppe „Gute Balance“ und 23 Probanden (10 Jungen und 13 Mädchen) der Gruppe „Schlechte Balance“ zu.

In der „gute Balance“-Gruppe verteilten sich 2 Jungen und 4 Mädchen bezüglich der Präferenz auf das rechte sowie 5 Jungen und 8 Mädchen auf das linke Bein. In der „schlechte Balance“-Gruppe hatten 3 Jungen und 5 Mädchen die Präferenz auf dem rechten Bein und 7 Jungen und 8 Mädchen auf dem linken.

Der arithmetische Mittelwert des GF-*T-Werts* beträgt bei den Jungen mit guter Balance $54,86 \pm 11,07$ und bei den Jungen mit „schlechter Balance“ $52,9 \pm 8,96$. Bei den Mädchen mit guter Balance lag der T-Wert bei durchschnittlich $55,08 \pm 10,6$ und bei den Mädchen mit schlechter

Balance bei $53,15 \pm 8,31$ gezeigt. Diese geringfügigen Unterschiede waren sowohl bei den Jungen ($p=0,669$) als auch bei den Mädchen ($p=0,689$) nicht signifikant (s. Abb. 4.31).

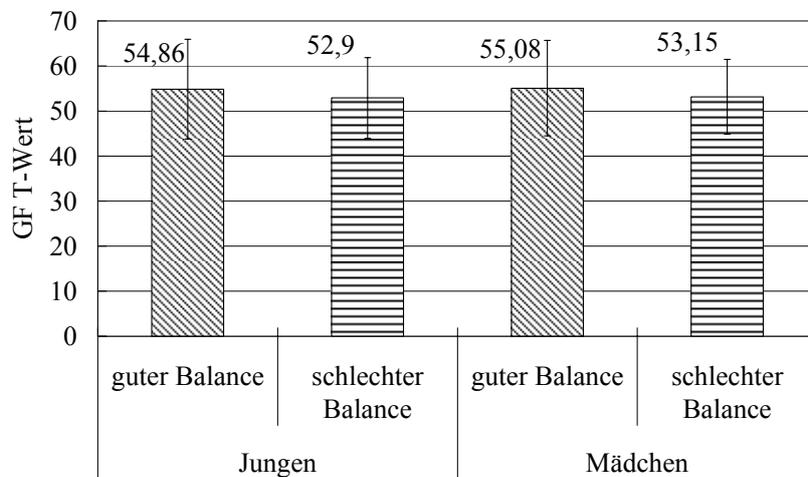


Abb. 4.31 T-Werte beim GF-Untertest im Vergleich nach Balanceleistung von Mädchen und Jungen beim Einbeinstandtest auf dem Nicht-Präferenzbein („guter Balance“-Gruppe: n: Jungen=7, Mädchen=12; „schlechter Balance“-Gruppe n: Jungen=10, Mädchen=13))

Bei Betrachtung des RF-T-Werts zeigten die Jungen mit guter Balance einen arithmetischen Mittelwert von $53,43 \pm 12,84$ und die Jungen mit schlechter Balance $49,5 \pm 6,49$. Die „gute Balance“-Mädchen hatten einen Mittelwert von $43,92 \pm 5,71$ und die „schlechte Balance“-Mädchen von $48,54 \pm 6,48$ (s. Abb. 4.32). Hier fällt auf, dass der Mittelwertunterschied entgegen der Hypothese ausfällt. Alle gefundenen Unterschiede sind jedoch nichtsignifikant, sowohl bei den Jungen ($p=0,317$) als auch bei den Mädchen ($p=0,087$).

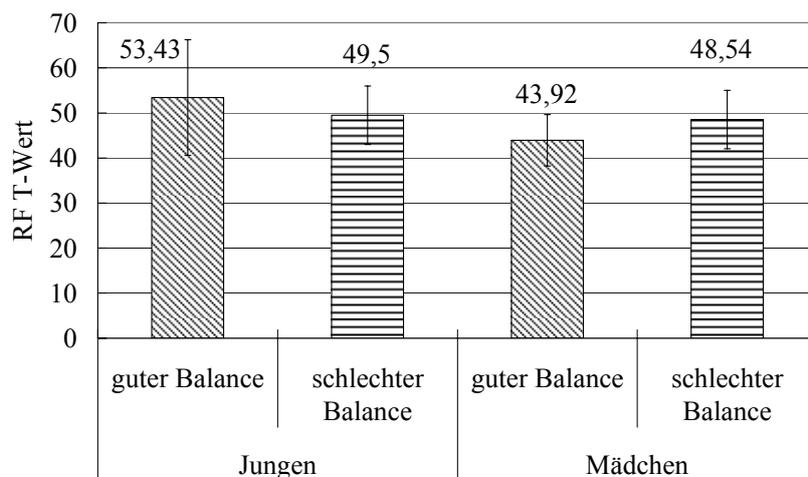


Abb. 4.32 T-Wert (RF) im Vergleich der „guter Balance“-Gruppe (n: Jungen=7, Mädchen=12) mit der „schlechte Balance“-Gruppe (n: Jungen=10, Mädchen=13) beim Einbeinstandtest (nicht Präferenzbein)

5 Diskussion

5.1 Zum Zusammenhang zwischen Geschlecht und Balancefähigkeit

Die biologischen Reifungsprozesse des Kleinkindesalters haben enorme Bedeutung für die Gesamtentwicklung eines Menschen [146]. Für eine gute körperliche Entwicklung ist dabei eine vielseitige motorische Stimulation bedeutsam. Umgekehrt wirken sich körperliche Besonderheiten auch auf die motorischen Qualitäten aus. Hier spielt beispielsweise das Geschlecht eine Rolle.

Unsere Studie zeigte sowohl bei 3- als auch 6-jährigen Mädchen signifikant kürzere Linienlängen und niedrigere Werte der Stationären Epochen, d.h. bessere Balanceleistungen als bei jeweils gleichaltrigen Jungen. Unsere Daten legen damit nahe, dass die Zeitspanne des deutlichen Geschlechtsunterschiedes bezüglich der Balancefähigkeit zu Gunsten der Mädchen mindestens das Kindergarten- und Vorschulalter betrifft. Dies wird auch von der Literatur gestützt. So belegen viele vorliegende Studien ebenfalls einen deutlichen Einfluss der Geschlechtsspezifität auf die Balancefähigkeit für das Alter von 3 bis 6 Jahren mit dem auch von uns gefundenen Vorsprung bei den Mädchen [105, 108, 118, 141, 146].

Beispielsweise führte VOGT (1978) zwei Balancetests („auf einem Bein stehen“ und „auf einer Turnbank balancieren“) für Kinder zwischen 3 und 6 Jahren durch. Beim „auf einem Bein stehen“-Test zeigte Ihre Studie für die Mädchen im Alter vom 5,5 bis 6 Jahren signifikant bessere Balanceleistungen als bei gleichaltrigen Jungen. Beim „auf einer Turnbank balancieren“-Test wiesen die Mädchen zwischen 4,5 und 5 Jahren deutlich bessere Leistungen als die gleichaltrigen Jungen auf [146].

Nach unseren Daten ist der Geschlechtsunterschied der posturalen Balance bei den 6-Jährigen - sowohl mit geöffneten als auch geschlossenen Augen - besonders deutlich.

Dass der geschlechtsbezogene Unterschied in der Balancefähigkeit gerade in der Zeit des ersten Gestaltwandels (5-6 Jahre) besonders zu Tage tritt, belegen beispielsweise USUI (1995) und FIGURA (1991) [36, 141]. In Ihrer japanischen Studie fand USUI (1995) über die Messung der Deviationen des Körperschwerpunkts heraus, dass die Mädchen durchschnittlich kürzere posturale Schwankungslinielängen und geringere Schwankungsflächeninhalte als die Jungen haben. Dabei lag besonders der Flächeninhalt bei Mädchen im 7. Lebensjahr statistisch hoch signifikant niedriger als bei den Jungen [141].

Wie weitere Studien zeigen, persistiert die Differenz zwischen Jungen und Mädchen auch noch bis zum 10. Lebensjahr [108, 118, 132, 141] und darüber hinaus. Dies fanden z.B. ODENRICK und SANDSTEDT in ihrer Studie bei 11-jährigen [108].

In einer Arbeit über die Standstabilität von Kindern von 3 bis 16 Jahren wurde von STEINDL et al. eine computergesteuerte dynamische Posturographieplattform (EquiTest-System) eingesetzt. Über den Druckverlauf der rechten und linken Ferse konnte die Verlagerung des auf die Plattform projizierten Fußdruckzentrums registriert werden. Es zeigte sich, dass die Mädchen in der Altersspanne von 3 bis 11 Jahren durchschnittlich besser balancieren als die Jungen des jeweils gleichen Alters [132]. Außerdem wurde gefunden, dass der Einfluss der Entwicklung der vestibulären Afferenz bei Mädchen vor dem 13./14. Lebensjahr statistisch signifikant überlegen ist. Bei der visuellen Entwicklung wiesen die Mädchen vom 3./4. bis zum 9./10. Lebensjahr bessere Funktionen als die gleichaltrigen Jungen auf [132].

Es ist anzunehmen, dass das unterschiedliche Entwicklungstempo der verschiedenen sensorischen Afferenz- und Sinnessysteme sowohl die sensomotorische Regulationen als auch andere höhere zentralnervöse Funktionen - wie Aufmerksamkeit und Wahrnehmung - beeinflusst, wozu besonders das vestibuläre System beiträgt [6, 132]. Es liegt daher nahe, dass die gefundenen Geschlechtsunterschiede in der posturalen Balance durch den Reifungsnachlauf der sensorischen Systeme bei den Jungen zumindest mitbedingt sind. Da nicht auszuschließen ist, dass dies bei den Jungen nicht nur zu schwächerer Balancefähigkeit führt, sondern auch möglicherweise Voraussetzungen für kognitive Leistungen, wie Aufmerksamkeit oder Konzentrationsfähigkeit beeinträchtigt, wurden in dieser Arbeit auch mögliche Zusammenhänge zwischen Balance und kognitiven Leistungen überprüft.

Nach FETZ (1990) verändern sich die Differenzen in der statischen Balanceentwicklung zwischen den Geschlechtern im Alter zwischen 7 und 12 Lebensjahren. Der Autor gibt an, dass die Jungen in dieser Zeit ihren bisherigen Entwicklungsrückstand aufholen und letztendlich die Mädchen in ihrem Balancevermögen überholen. [34].

5.2 Diskussion zum Zusammenhang zwischen Balancefähigkeit und Körperhöhe bzw. Fußlänge

„Bei physikalischen Körpern kann man das stabile Gleichgewicht durch die Standfestigkeit des Körpers quantifizieren. ... Die Standfestigkeit eines Körpers ist proportional zur Größe der Standfläche und verkehrt proportional zur Höhe des Schwerpunkts (FETZ 1990 S.12) [34].“ Diese Definition gilt grundsätzlich für alle Körper, die der Schwerkraft unterliegen, auch für den aufrecht stehenden Menschen. Beim lebenden biologischen Körper kommen natürlich weitere Bedingungen hinzu, wie die Mehrgliedrigkeit, die labilen Gleichgewichte der Teilkörper in ihren Gelenken und die Tatsache, dass diese nicht statisch unbeweglich sind, sondern ständig dynamisch ausbalanciert werden. Dennoch ist nicht auszuschließen, dass die physikalisch relevanten Parameter Körperhöhe (und damit ein Äquivalent für die Höhe des Körperschwerpunkts) und Größe der Unterstützungsfläche (repräsentiert durch die Fußlänge) die Ergebnisse des Balancetests beeinflussen. Dies müsste dann bei der Interpretation der Daten berücksichtigt werden. In dieser Studie wurden daher die möglichen Zusammenhänge der posturalen Balanceregulation mit Körperhöhe bzw. Fußlänge betrachtet.

Unsere Ergebnisse zeigten bei den 3-jährigen Jungen eine positive mittlere Korrelation zwischen der Körperhöhe und den Werten der Stationären Epochen ($r=0,47$, $p=0,004^*$), d.h. je größer der Junge, desto weniger stark waren die stabilen Phasen ausgeprägt. Dieses Ergebnis spricht für die oben skizzierte Annahme, wonach höhere Körper stärker schwanken. Bei der Linienlänge wurde keinen Zusammenhang mit der Körperhöhe festgestellt. Ein Zusammenhang zwischen Körperhöhe und Linienlänge zeigte sich bei den 3-jährigen Mädchen nicht.

Bei den 6-jährigen Jungen wurde keine deutliche Korrelation zwischen der Linienlänge bzw. Stationären Epochen und Körperhöhe sowohl mit geöffneten Augen als auch mit geschlossenen Augen entdeckt. Demgegenüber ergab sich bei den 6-jährigen Mädchen mit zunehmender Körperhöhe eine vermehrte Balanceinstabilität. Dies zeigte sich sowohl mit geöffneten als auch mit geschlossenen Augen. Auch dies ist im Sinne der o.g. mechanischen Annahme.

Die Ergebnisse scheinen damit die eingangs erwähnte mechanistische Hypothese zu stützen, wonach hohe Körper mehr schwanken. Allerdings ist einzuwenden, dass tote und starre physikalische Körper nicht in der Lage sind, labile Gleichgewichte aktiv auszuregulieren. Die

statischen Verhältnisse von Massenschwerpunkten und Unterstützungsflächen stellen daher nur eine wirkende Rahmenbedingung eines komplexen Gesamtsystems dar. Vielmehr scheint es dem Autor plausibler, die gefundenen Besonderheiten bei den 3/4-jährigen Jungen und den 6-jährigen Mädchen entwicklungsphysiologisch zu deuten. Es ist davon auszugehen, dass die Qualität des Balancegeschehens in Bezug auf seine Geschwindigkeit und Exaktheit vom Reifungsgrad der beteiligten sensorischen und motorischen Systeme abhängt. Andererseits dürften auch Phasen des körperlichen Gestaltwandels auf Grund der damit verbundenen Veränderung der biomechanischen Rahmenbedingungen destabilisierend wirken.

Wie der Geschlechtervergleich deutlich zeigte, ist die Balancefähigkeit im frühen Kindergartenalter bei den Mädchen deutlich besser ausgeprägt als bei den Jungen, was durch einen Reifungsvorsprung der Sensomotorik erklärt wird. Daraus kann abgeleitet werden, dass größere Mädchen in diesem Alter die etwas höhere passiv mechanische Instabilität ihres Körperbaus sensomotorisch gut kompensieren, die Jungen hingegen weniger gut.

Bei den 6-jährigen Mädchen wiederum scheint sich eine größere Körperhöhe negativ auf die Balanceregulation auszuwirken. Hier kann vermutet werden, dass diese möglicherweise bereits stärker durch den während dieser Zeit ablaufenden ersten Gestaltwandel im Übergang zum Schulkindkörperbau beeinflusst sein könnten.

Ein weiterer - noch nicht betrachteter - Kofaktor des Balancegeschehens ist die Körperhaltung. Das posturale Balanceregulationszentrum muss unter veränderten Haltungsbedingungen neue Strategie suchen, um den Körper stabil zu halten. Möglicherweise können die entwickelten Balancestrategien in Übergangsphasen - wie etwa dem ersten Gestaltwandel - die damit verbundenen veränderten statischen Bedingungen und damit auch Körperhaltungen temporär noch nicht perfekt abgleichen.

MCEVOY und GRIMMER (2005) haben eine Studie über die Körperhaltungswinkel bei 5 bis 12-jährigen Kindern durch biomechanische Videoaufnahmen vorgelegt. Obwohl sie kaum einen Zusammenhang zwischen den 4 Körperhaltungswinkeln (Nackenwinkel, Blickwinkel, Winkel des Kopfes auf dem Nacken und Beinwinkel) und der Körperhöhe finden konnten, entdeckten sie aber eine niedrige univariate Korrelation zwischen der Körperhöhe und dem Rumpfwinkel (Winkel der Linie von C7 zum großen Trochanter und dem Raumlot). Dieser Rumpfwinkel hatte auch einen niedrigen Zusammenhang mit den getesteten motorischen Funktionen (Brace-Test). Der Brace-Test beinhaltet grobe motorische Tests (bzw. Koordination, Kraft, Balancefähigkeit und Flexibilität). Daraus wird eine motorische

Funktionsskala berechnet. Der Rumpfwinkel gibt nach McEVOY und GRIMMER Auskunft über die Qualität, mit der die sensomotorische Regulation die Multisegmente des Körpers zwischen Kopf und Rumpf in ihrer Auseinandersetzung mit der Schwerkraft ausbalanciert [98]. Ein veränderter Rumpfwinkel kann zu einer Verschiebung des Körperschwerpunkts weg von der optimalen Balance führen, was wiederum erhöhte Korrekturanforderungen stellen dürfte. Die im Laufe der Entwicklung auftretenden Haltungsveränderungen könnten auf diesem Wege die Balancequalität beeinflussen.

Zum Zusammenhang zwischen Fußlänge und Balanceregulation gab es bisher kaum Studien. Unsere Ergebnisse sprechen für einen schwachen Zusammenhang zwischen Fußlänge (und damit Fußflächengröße) und der posturalen Balanceregulation bei gleichaltrigen Kindern.

Sowohl bei den 3-jährigen Jungen/Mädchen als auch bei den 6-jährigen Jungen/Mädchen tendieren Fußlänge und Linienlänge bei geöffneten Augen zu einem negativen Zusammenhang. Dies wäre im Sinne der Annahme, wonach die Stabilität auf einer großen Unterstützungsfläche besser gelänge. Allerdings erlangen die ohnehin maximal schwachen Korrelationen in keinem Fall Signifikanz, sind somit unbedeutend. Dem widersprechend zeigten sich - besonders bei den 6-jährigen Kindern - mit zunehmender Fußlänge auch zunehmende Werte der Stationären Epochen - also ein gegenläufiger Trend. Dieser ist bei geschlossenen Augen bei den Jungen signifikant, bei den Mädchen an der Grenze zur Signifikanz. Auch hier scheint sich ein Entwicklungsvorsprung bei den 6-Jährigen eher störend auszuwirken. Somit bietet sich eine analoge Interpretation wie oben an.

Die Ergebnisse bieten eine Parallelität zur Beziehung zur Körperhöhe. Die Betrachtung der Linienlänge tendiert zwar bezüglich der Mittelwertdifferenzen zu einem positiven Zusammenhang zwischen Balancevermögen und Körperhöhe bzw. Fußgröße, jedoch mit unzureichender Sicherheit. Die posturografische Plattformmessung tendiert in die entgegengesetzte Richtung und bietet dabei ein höheres Niveau der statistischen Sicherheit (s. Tab. 5.1) Es ist daher anzunehmen, dass die posturografische Analyse mittels Kraftmomentenplattform und deren nichtlinear dynamische Auswertung mit der Stationären Epoche qualitativ zusätzliche Informationen liefert.

Tab. 5.1 Übersicht des Korrelationskoeffizienten (r) nach Pearson zwischen Balancefähigkeit (Linienlänge und Stationäre Epochen) und Körperhöhe bzw. Fußlänge.

(+): positiver Zusammenhang

(-): negativer Zusammenhang

(* = statistische Signifikanz)

Posturografische Balancedaten		Körperhöhe		Fußlänge	
		Linienlänge	Stationäre Epoche	Linienlänge	Stationäre Epoche
Mit geöffneten Augen	3jährige Jungen	0,07	0,47 *	-0,206	0,296
	3jährige Mädchen	-0,1	0,01	-0,221	-0,041
	6jährige Jungen	-0,103	0,195	-0,055	0,241
	6jährige Mädchen	-0,129	0,327 **	-0,115	0,203
Mit geschlossenen Augen	6jährige Jungen	-0,113	0,149	0,017	0,359 *
	6jährige Mädchen	0,116	0,428 ***	0,02	0,263
					(p=0,027)

Zum Thema Fuß und Balance im Kindesalter liegen derzeit wenige wissenschaftliche Arbeiten vor. LIN et al. (2006) beschäftigte sich mit dem Zusammenhang zwischen der posturalen Balanceregulation und der Fußstruktur. Hierbei setzte er das Verfahren der Pedografie ein. Die quantitative Analyse des Fußabdrucks während der Standstellung wurde dabei als indirekte Messung des Längsgewölbes, das als wichtiger struktureller Teil des Fußes betrachtet wird, eingesetzt. LIN et al. fanden eine Korrelation zwischen dem Fußabdruck bzw. der Fußkontaktfläche und den posturalen Schwankungen der Kinder im Alter von 4 bis 5 Jahren im Stand mit geschlossenen Augen Stand auf einer labilen Unterlage (Schaumgummimatte). Die Kinder mit niedrigem Fußgewölbe zeigten dabei geringere posturale Schwankungen und damit eine bessere posturale Balanceregulation als die Kinder mit höherem Fußgewölbe. Anhand der Ergebnisse wurde vermutet, dass bei niedrigerem Fußgewölbe möglicherweise mehr somatosensorische Informationen von der Haut aufgenommen werden könnten oder flexiblere biomechanische Bedingungen für die posturale Balanceregulation vorlägen [89]. Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass die Reifung der Fußstruktur ein Einflussfaktor auf die kindliche Balance haben könnte. Zudem wird allgemein anerkannt, dass die Fußstruktur indirekt auch die Körperhaltung beeinflusst [28].

Zudem spielt möglicherweise die Veränderung des posturalen Körperschwerpunkts bezogen auf dessen Lage unter der Fußsohle (Druckverteilungszentrum) im Verlaufe des Vorschul-

und Schulalters eine Rolle. In einer Studie über die posturale Balanceentwicklung entdeckten USUI et al (1995), dass der posturale Körperschwerpunkt unter den Füßen mit zunehmendem Alter deutlich in Richtung Zehen verschoben wird. Der Schwerpunkt liegt im Alter von drei bis fünf Jahren bei ca. 36% der Fußlänge (von der Ferse aus gesehen) und im Alter von 11 Jahren bei 41-42% der Fußlänge [141]. Diese Verschiebung des posturalen Körperschwerpunkts könnte die Standstabilität beeinflussen.

Bei Betrachtung von Tab. 5.1 fällt auch auf, dass sich bei Balance mit geschlossenen Augen die geprüften körperbaulichen Merkmale anscheinend stärker auswirken. Dies legt nahe, dass Körperhöhe und Fußgröße mit Wegfall der optischen Kontrolle möglicherweise stärker ins Gewicht fallen. Auch dies stützt die oben aufgeführte Hypothese, wonach unter sich verändernden körperbaulichen Bedingungen die - insbesondere propriozeptiv beeinflusste - sensorische Kontrolle einer vorübergehenden Labilität unterliegt.

Da die Zusammenhänge zwischen Balance und den geprüften Körperbaumaßen insgesamt eher gering sind, ist deren Einfluss nicht der gleiche Stellenwert zuzumessen wie etwa dem Geschlecht.

5.3 Diskussion zum Zusammenhang von Körperstatik und sensomotorischer posturaler Balancefähigkeit

Unsere Untersuchungsergebnisse zeigten einen Unterschied zwischen der durchschnittlichen posturalen Balanceregulation von Kindern mit normaler Beckenstatik und der von Kindern mit funktioneller Störung der Beckenstatik (s. Tab. 5.2). Die Kinder ohne funktionelle Störung der Beckenstatik konnten besser balancieren als die Kinder mit festgestellter Beckentorsion. Außerdem balancierten die Kinder ohne klinisch wahrnehmbare Beinlängendifferenz generell besser als die Kinder mit Beinlängendifferenz. Dies zeigte sich besonders mit geöffneten Augen.

Tab. 5.2 Übersicht der Mittelwertvergleiche der Balanceparameter bezüglich Statikstörung; (+): Der Mittelwert der Gruppe mit Statikstörung ist höher als in der Gruppe ohne Statikstörung; (-): Der Mittelwert der Gruppe mit Statikstörung ist niedriger als in der Gruppe ohne Statikstörung; (* = statistische Signifikanz)

		Beckenstatik		Beinlängendifferenz	
		Linienlänge	Stationäre Epoche	Linienlänge	Stationäre Epoche
Mit geöffneten Augen	Gesamte Gruppe	+	+	+ *	+ *
	Jungen	+	+	+	+
	Mädchen	+	+	+	+
Mit geschlossenen Augen	Gesamte Gruppe	+	+	+	+
	Jungen	+	+	+	+
	Mädchen	+	+	-	-

Tabelle 5.2 gibt eine Übersicht über die in den Mittelwertvergleichen gefundenen Tendenzen. Von 24 Vergleichen fallen 22 im Sinne der Hypothese aus. Allerdings wird nur in zwei Fällen ein hinreichendes Signifikanzniveau erreicht. Angesichts dieses Bildes kann man vermuten, dass der hypothetisch postulierte Zusammenhang zwischen Statikstörung und beeinträchtigter Balance tendenziell besteht, angesichts der vorliegenden Stichprobe jedoch noch nicht hinreichend gesichert werden kann.

Für diese Vermutung spricht auch die Studie von HERRMANN et al. (2002). Diese große deutsche Studie wurde über den Zusammenhang zwischen Körperstatik und posturaler Balanceregulation bei insgesamt 766 Kindern (11 ±1 Jahre) durchgeführt. Dabei beurteilt ein trainierter Therapeut palpatorisch-somatoskopisch die Statik des Beckens mit gleicher

Diagnostik wie in der vorliegenden Arbeit. Als Messmethode wurde das gleiche posturographische Messsystem mit Kraftmomentensensorik verwendet. Es ergab sich ein statistisch deutlicher Unterschied der Balanceregulation im Vergleich von beckenstatisch funktionell ungestörten und gestörten Kindern [58]. In der Arbeit wurde vermutet, dass propriozeptive und nozizeptive Störsignale aus dem Achsenorgan die Balanceregulation beeinträchtigen. Man ging davon aus, dass Einflussfaktoren den Rechenaufwand erhöhen und damit die Reflex-Laufzeiten verlängern.

Dieser Ansicht schließt sich der Autor an. Im Rahmen der Chirotherapie werden Beckentorsionen (Beckenverwringungen) als Auswirkung von Asymmetrien der muskulären Stabilisation des Beckens angesehen. Durch ungleiche Muskelkontrolle kommt es zu einer gegensinnigen Torsion der beiden Hüftbeine zueinander. Dies bewirkt funktionell eine Beinlängendifferenz, da sich damit Verschiebungen der Acetabuli ergeben. Ein nach ventral kippendes Os coxae führt zu einer scheinbaren Verlängerung des Beins, ein nach dorsal kippendes zu einer relativen Verkürzung. Dies erklärt auch die Konsistenz der Ergebnisse bei Beckentorsion und Beinlängendifferenz.

Es liegt nahe anzunehmen, dass Störungen der Statik des Beckens durch dessen enge Verbindung mit dem Achsenorgan letztlich die gesamte Körperstatik beeinflussen. Die Wirbelsäule ist hier auf Grund ihrer höchst komplexen sensomotorischen Einbindung in die Balanceregulation sehr wichtig [104]. Dies belegen unter anderem Studien, die eine negative Auswirkung idiopathischer Skoliosen auf die posturale Balancefähigkeit nachweisen [1, 47, 122]. Die Autoren folgern, dass sensorische Integrationsprobleme bei gestörter Körperstatik (insbesondere aus der Wirbelsäule) die posturale Balance destabilisieren. BOVE et al. (2002) entdeckten, dass dabei die Halswirbelsäule (HWS) bezüglich der Balance eine eher untergeordnete Rolle zu spielen scheint aber für die Lokomotionsregulation von großer Bedeutung ist [19]. Dies legt den Schluss nahe, dass offenbar Irritationen am Fundament der Wirbelsäule - Becken und lumbosakraler Übergang - für die Balance von größerer Bedeutung sind.

Dennoch ist von einer intensiven Interaktion zwischen Becken und Halsregion auszugehen. LEWIT (1985) vertritt die Ansicht, dass posturale Impulse aus der Sensorik von Kopf und Hals - vor allem visuelle, vestibuläre und propriozeptive Informationen - die Beckenstatik beeinflussen können. D.h die Körperstatik wird auch durch die sensorischen Informationen aus dem Kopfbereich reguliert und adaptiert [88, 104]. Diese neuromotorische Regulation der

Hüft-Becken-Statik und der unteren Extremitäten wird als Pelvo-okulärer Reflex bezeichnet [88]. Deshalb kann - im Gegensatz zu BOVE et al. - vermutet werden, dass die komplizierten Interaktionen zwischen Körperhaltung und Beckenstatik die Informationsverarbeitungseffizienz der posturalen Balanceregulation ebenfalls beeinflussen könnten.

In Folge einer Beckenverwringung ist anzunehmen, dass auch die artikulären und periartikulären Strukturen der Iliosakralgelenke sowie der Symphyse inadäquat beansprucht werden, was zu seitendifferenten propriozeptiven Afferenzen u.a. zum Kleinhirn und über den Tractus spinothalamicus zum Thalamus führen muss. Außerdem kann man erwarten, dass hier auch nozizeptive Signale eine Rolle spielen. Es liegt nahe, dass diese zusätzlichen und teilweise im Seitenvergleich dissonanten Informationen zusätzlichen Verarbeitungsaufwand bedeuten. Eine solcherart gestörte Balanceregulation kann folglich nicht ebenso effektiv funktionieren wie eine ungestörte.

Davon ausgehend, dass nozizeptive Störsignale aus dem Bewegungsapparat nicht nur Sensomotorik, sondern möglicherweise auch andere nervale Funktionen affektieren könnten, überprüfen wir einen möglichen Zusammenhang zwischen BIVA-Ergebnissen und Körperstatik. Ein solcher konnte jedoch nicht bestätigt werden.

5.4 Diskussion zum Zusammenhang zwischen Balancefähigkeit und BIVA-Intelligenzparametern

Der amerikanische Intelligenzforscher GARDNER (1993) definierte menschliche Intelligenz als „Multiple Intelligenz“. Er hat damit das Verständnis von Intelligenz ausgeweitet. Die Theorie der multiplen Intelligenzen enthält verschiedene Intelligenzformen, wie linguistische (sprachliche), musikalische, logisch-mathematische, räumliche (räumliches Vorstellungsvermögen), körperlich-kinästhetische (motorische Fähigkeiten), kreative, intrapersonale (Zugang zum eigenen Gefühlsleben) und interpersonale Intelligenz (soziale Intelligenz) [45]. Davon ist die körperlich-kinästhetische Intelligenz besonders wichtig für sensomotorische Fähigkeiten, da sie das Potenzial enthält, den Körper und einzelne Körperteile zur Problemlösung oder zur Gestaltung von Produkten einzusetzen. All diesen Formen ist gemein, dass sie letztlich Äußerungen nervaler Funktion sind. Es ist daher denkbar, dass sich generalisierte Funktionseinschränkungen in diesem Bereich auch auf verschiedene Intelligenzformen gleichermaßen auswirken können.

Im BIVA-Test versuchten SCHARRSCHMIDT et al. die Teilprozesse (Herauslösen von Merkmalen, Vergleichen von Merkmalen und Übertragen von Relation von einer Struktur auf eine andere) zu differenzieren. Ein hoher Intelligenzwert bedeutet hier eine Problemlösung auf effektivste Weise [123]. In der hier vorgestellten Studie wurde der Zusammenhang zwischen den Intelligenzwerten im BIVA-Test und posturale Balancefähigkeit/Einbein-Balancetest analysiert.

Die hierbei erzielten Ergebnisse sollten allerdings vorsichtig interpretiert werden. Zwar zeigten sich kaum statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen Intelligenztest-Ergebnissen und posturaler Balancefähigkeit, die grundsätzliche Tendenz der Mittelwertunterschiede im Sinne der Hypothese mit besserer durchschnittlicher Balanceleistung bei den Kindern mit hohen BIVA-Werten deutet jedoch darauf hin, dass ein schwacher Zusammenhang vorliegen könnte. Wie Tabelle 5.3 zeigt, liegen insgesamt 17 von 20 Mittelwertvergleichen bei den Jungen aber nur 11 von 20 Mittelwertvergleichen bei den Mädchen in der Tendenz in der Richtung der Hypothese.

Bei den OHP- und WBP-Tests wurden nur teilweise Mittelwertvergleiche (z.B. bei den Jungen) entsprechend der Hypothese gefunden, während hier die meisten Vergleiche entgegengesetzte Aussagen liefern. Im Gegensatz hierzu zeigten die Mittelwertvergleiche bei OHN-

und WBN-Test sowohl bei den Jungen (4 von 4) als auch Mädchen (4 von 4) in der Tendenz in die Richtung der Hypothese. Allerdings wurde nur eine Signifikanz bei WBN (Jungen) festgestellt. Der Autor deutet diese Ergebnisse als Tendenz im Sinne eines Zusammenhangs zwischen posturaler Balancefähigkeit und den auf Negation beruhenden BIVA-Tests OHN und WBN. SCHARRSCHMIDT et al. sind der Meinung, dass die in OHN und WBN geforderten Umkehroperation im Vergleich mit den auf positiven Operationen beruhenden OHP und WBP deutlich anspruchsvoller sind, insbesondere für leistungsschwache Kinder [123]. Es ist daher denkbar, dass die Anforderungen bei OHP und WBP nicht hoch genug waren, um mögliche Balance relevante Phänomene zu diskriminieren.

Tab. 5.3 Übersicht der Mittelwertvergleiche zwischen den BIVA-Tests und posturografische Balancetests/ Einbein-Balancetests

(+) Mittelwertdifferenz entsprechend der Hypothese

(-) Mittelwertdifferenz entgegengesetzt der Hypothese

(*= statistische Signifikanz)

BIVA	Posturografische Balancetests	Gesamte Gruppe	Jungen	Mädchen
OHP	Linienlänge	-	-	+
	Stationäre Epoche	-	-	-
WBP	Linienlänge	+	+	-
	Stationäre Epoche	-	+	-
OHN	Linienlänge	+	+	+
	Stationäre Epoche	+	+	+
WBN	Linienlänge	+ *	+	+
	Stationäre Epoche	+	+	+
GF (mit geöffneten Augen)	Linienlänge	+	+	+
	Stationäre Epoche	+	+	+
GF (mit geschlossenen Augen)	Linienlänge	+	+	+
	Stationäre Epoche	+	+	-
RF (mit geöffneten Augen)	Linienlänge	-	-	-
	Stationäre Epoche	-	+	-
RF (mit geschlossenen Augen)	Linienlänge	-	+	-
	Stationäre Epoche	+	+	-
BIVA	Einbein-Balancetest		Jungen	Mädchen
GF	Präferenzbein		+	+ ***
	Nicht Präferenzbein		+	+
RF	Präferenzbein		+	+
	Nicht Präferenzbein		+	-
Gesamt			17 + , 3 -	11 + , 9 -

Beim Zusammenhang zwischen GF-Test und posturaler Balancefähigkeit bzw. Einbein-Balancetests zeigten wiederum 6 von 6 Mittelwertvergleichen bei den Jungen und 5 von 6 Mittelwertvergleichen bei den Mädchen in der Tendenz in die Richtung der Hypothese. Aber auch hier war nur eine statistische Signifikanz bei den Mädchen ($p=0,000$ ***) zwischen GF und Einbein-Balancetest (Präferenzbein) zu finden. Im Gegensatz dazu zeigten 5 von 6 Mittelwertvergleichen bei den Jungen und nur einer von 6 Mittelwertvergleichen bei den Mädchen beim Zusammenhang zwischen RF und posturaler Balancefähigkeit/Einbein-Balancetests in der Tendenz in die Richtung der Hypothese. Hier wurde keine Signifikanz festgestellt. Anhand dieser Ergebnisse kann man vermuten, dass die Balanceregulationsfunktion möglicherweise mehr mit den zeitlich-kausalen Denkopoperationen des GF-Tests als mit den Orts- und Mengen-Relationen des RF-Tests in Beziehung stehen könnte.

Nahezu alle Stichproben zeichnen sich durch große Standardabweichungen aus. Diese führen - selbst bei deutlichen Mittelwertunterschieden - angesichts der kleinen Stichproben dazu, dass das Signifikanzniveau nicht erreicht wird. Es ist daher nicht auszuschließen, dass eine Untersuchung mit größerer Stichprobe zu hinreichender statistischer Sicherheit führen würde.

Methodenkritisch muss gerade unter Beachtung von GARDNERS Konzept der multiplen Intelligenzen angemerkt werden, dass mit dem Einsatz eines Intelligenztests lediglich ein sehr schmaler Ausschnitt aus einem sehr komplexen Geschehen abgebildet wird. Dieser lässt damit keine globalen Aussagen zur Intelligenz eines Kindes in toto zu. Doch selbst wenn dies möglich wäre, steht die Frage nach der Relevanz für den Lebenserfolg eines Menschen. Daher sind die Ergebnisse des BIVA-Tests mit der entsprechenden Vorsicht zu interpretieren.

Die Ergebnisse sollen unter fünf Aspekten diskutiert werden:

- unter dem der Motivation,
- unter dem der Aufmerksamkeit,
- unter dem der sensorischen Informationsaufnahme im Rahmen der posturalen Balanceregulation,
- unter dem der Funktionen des Kleinhirns und
- unter dem des neuronalen Reifungsniveaus.

Einen möglichen Einflussfaktor stellt die Motivation zum Untersuchungsverfahren bei den untersuchten Kindern dar [18, 93]. Gerade bei Untersuchungen mit Kindern kann eine unzureichende Motivation die Ergebnisse massiv verfälschen. Während der Messungen haben wir bemerkt, dass die Kinder sehr motiviert waren, da sie diese wie ein Spiel empfanden. Aus diesem Grund gehen wir davon aus, dass mögliche Einflüsse durch eventuelle Motivationsdefizite hier reduziert waren.

Zwar wird posturale Balance in Alltagssituationen unbewusst und damit ohne gerichtete Aufmerksamkeit aufrecht erhalten. Besonders anspruchsvolle BalancelLeistungen, wie etwa Einbeinstand oder Zehenstand erfordern jedoch beim Untrainierten die bewusste Zuwendung. Dies zeigt, dass Balance durch Aufmerksamkeit unterstützt werden kann. Wie wichtig Aufmerksamkeit für Balance ist betonen mehrere Autoren [3, 90, 92, 93]. Das sensorische Aufnahmevermögen basiert auf Aufmerksamkeit, bzw. kann durch diese unterstützt werden [90]. Eine hohe Qualität der sensomotorischen Balanceregulation gründet sich auf einer effizienten Informationsauswahl. Man kann unter dem Konzept der Aufmerksamkeit verstehen, dass man sich auf bestimmte sensorische Informationen, motorische Steuerungs- und Regulationsprogramme, Gedächtnisinhalte oder interne Repräsentationen konzentrieren kann [81]. Mit Zunahme des Angebots an sensomotorischen Informationen vergrößert sich auch die Anforderung an die Informationsauswahlprozesse.

Im Kindesalter lässt sich die Aufmerksamkeit - besonders die Entwicklung der Hirnnerven und der Kognition - beeinflussen. Die Konzentrationsfähigkeit und Aufmerksamkeit bilden die Grundlage für das Gedächtnis bzw. sowohl das motorische als auch das kognitive Lernen [90].

Ein dritter Faktor besteht darin, dass Defizite der sensorischen Informationsaufnahme im Zusammenhang mit der posturalen Balanceregulation sich auf kognitive Leistungen negativ auswirken können. Dies zeigen Studien beispielsweise bei Probanden mit vestibulären Dysfunktionen [3, 4, 75, 86, 97], akustischer Dysfunktion [95] und visueller Beeinträchtigung [120, 121, 145, 152].

Dabei spielt die optische Differenzierungsleistung möglicherweise eine wichtige Rolle für den effizienten visuellen Informationsauswahlprozess. Studien von VOELCKER-REHAGE zeigten sowohl Korrelationen zwischen der Balancefähigkeit und optischen Differenzierungsleistungen [145] als auch zwischen optischen Differenzierungsleistungen und der kognitiven Leistungsentwicklung [120, 121, 152].

Bei Kindern mit Lese-Rechtschreib-Schwäche (LRS) wurden im Vergleich mit Kindern ohne dieses Handicap mehr Schwankungen bei der posturalen Balance festgestellt [103, 106, 135]. Weitere Arbeiten, so die von YAP (1994), MOE-NILSSEN (2003) und WIMMER (1999), zeigten sogar mehr oder weniger deutliche Balancedefizite bei mehr als 50 % der Kinder mit LRS [103, 153, 159]. Hier fiel auf, dass LRS-Kinder insbesondere bei geöffneten Augen signifikant stärkere Balanceschwankungen im Vergleich mit Kindern ohne Lernstörung zeigten. Demgegenüber wurden bei geschlossenen Augen kaum Unterschiede der Balancefähigkeit gefunden [103, 135]. Hieraus wurde geschlossen, dass möglicherweise beeinträchtigte visuelle Informationen als negative Einflussfaktoren bei Kindern mit Lese-Rechtschreib-Störung wirksam werden [135].

SAUTER vertritt die Ansicht, dass die optische Differenzierungsfähigkeit mit verschiedenen Bereichen der Informationsverarbeitung im Kindesalter zusammenhängt, wie z.B. der Aufmerksamkeit, dem Gedächtnis, der nonverbalen Intelligenz, der akustischen Differenzierungsfähigkeit und der visuellen Wahrnehmung [120, 121]. Auch die Studie von VOELCKER-REHAGE weist auf Korrelationen zwischen zentralnervös gesteuerten sensomotorischen Leistungen und der optischen Differenzierungsfähigkeit als Ausdruck einer engen Verzahnung bestimmter Gehirnregionen, die nicht nur für kognitive, sondern auch motorische Prozesse zuständig sind, hin [145].

In einem vierten Ansatz ist die Bedeutung supraspinaler Verarbeitungsprozesse, insbesondere im Kleinhirn zu diskutieren. Dem Kleinhirn wurden ursprünglich ausschließlich motorische Funktionen zugeschrieben. Inzwischen wiesen Studien auch eine Bedeutung bei der Ausführung sowohl kognitiver als auch sensorischer Aufgaben nach [2, 48, 139, 142].

Zur Funktion des Kleinhirns haben GEBHART et al. (2002) festgestellt, dass das rechte posterolaterale Kleinhirn bei den kognitiven Aspekten der Sprache mitwirkt. Dieses Areal unterstützt auch den linken Kortex dabei, beim Sprechen die individuellen spezifischen Wörter zuzuordnen (z.B. einkaufen, aufstehen usw....). Dazu unterstützt das rechte posterolaterale Kleinhirn das Hirn beim Satzbau während des Sprechens. Allerdings kann es dabei syntaktische Strukturen, wie Nomen und Verben nicht unterscheiden. Auch das linke posterolaterale Kleinhirn erfüllt Hilfsfunktionen bei der Sprachprogrammierung, jedoch sind diese deutlich geringer ausgeprägt als rechts [48]. Diese in jüngerer Zeit nachgewiesene enge Verknüpfung von sensomotorischer Balanceregulation und kognitiven Funktionen im Kleinhirn bietet eine Erklärungsgrundlage für die gefundenen Phänomene [49].

Ein fünfter Diskussionsansatz liegt im neuronalen Reifungsgeschehen. Neuronale Reifungsprozesse sind teilweise eindeutig mit sensomotorischen Entwicklungsvollzügen zur Deckung zu bringen [28]. Die Leistung der Informationsverarbeitung hängt dabei wesentlich vom Grad der neuronalen Reifung in der kindlichen Entwicklungsphase ab [16, 49, 51]. Hierbei spielt die Geschwindigkeit der Nervenleitung ebenso eine Rolle [11, 144] wie die Effizienz der Signalintegration und Informationsverrechnung [16]. Die Laufzeit der der posturalen Balanceregulation zu Grunde liegenden Regelkreis gebundenen Rückkopplungen hängt davon ab, wie schnell die beteiligten Nervenfasern leiten und wie viele synaptische Schaltvorgänge durchlaufen werden. Dies sind die funktionellen Grundlagen sowohl für die Balancefähigkeit als auch kognitive Leistungen. Die hierfür erforderlichen neuronalen Voraussetzungen werden in der frühen Kindheit geschaffen. Diese bestehen in einem stürmischen Wachstum und der Myelinisierung der Axone sowie in der Zunahme und Verlängerung der Dendriten und sowie insbesondere der Vermehrung synaptischer Kontakte. Durch die Myelinisierung der Nervenfasern wird die Geschwindigkeit und damit die Effizienz der neuronalen Übertragung gesteigert [90].

Eine Reihe von Studien zeigte auf verschiedene Weise positive Einflüsse von Kognition auf die Balancefähigkeit bei älteren Probanden [20, 97]. Ein solcher ließ sich allerdings bei jungen Probanden bisher nur tendenziell [25, 69] oder gar nicht nachweisen [22, 111, 160]. In weiteren Arbeiten wird auf einen Zusammenhang zwischen kognitiven Leistungen, wie Schulleistungen, Lern- und Sprachfähigkeiten mit der Balancefähigkeit hingewiesen [16, 80, 103, 114, 135].

POBLANO et al. (2002) führten eine Studie zur posturalen Balance bei Kindern mit Lerndefiziten und normalen Kindern durch. Die untersuchten Kinder waren im Alter zwischen neun und zehn Jahren. Durch ein posturale Balanceplattform (Equitest) wurden posturografische Daten gemessen. Im Ergebnis zeigten Kinder mit Lerndefizit dabei signifikant höhere Latenzzeiten in der Translation als „normale“ Kinder. Dies bedeutet, dass für die Regelabläufe von Bewegungen bei lernschwachen Kindern mehr Zeit benötigt wird als von Kindern ohne Lerndefizite. Allerdings konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen Schulerfolg und der posturalen Balancefähigkeit in der Studie festgestellt werden [111].

Eine in diesem Zusammenhang nahe liegende Frage geht dahin, ob man durch die Untersuchung der posturalen Balancefähigkeit bzw. der sensomotorischen

Regulationsfähigkeit das kognitive Entwicklungsniveau vorhersagen kann. Die niederländischen Wissenschaftler WIJNROKS und VELDHOVEN sehen eine beeinträchtigte Balanceregulation, kognitive Funktionsstörungen und eine eingeschränkte Aufmerksamkeit als Symptome der Dysfunktion des ZNS. Sie haben in einer Studie über posturale Balancekontrolle und kognitive Entwicklung bei frühgeborenen Kindern (≤ 37 Wochen) herausgefunden, dass eine signifikante positive Korrelation zwischen posturaler Balancekontrolle und kognitiver Leistung besteht. Sie konnten nachweisen, dass es einen Zusammenhang zwischen einer Entwicklungsstörung im Mutterleib und der posturalen Balancekontrolle gibt. Auf der Grundlage dieser Studie kamen sie zu der Aussage, dass über die posturale Regulationsfähigkeit eine gute Vorhersage für die spätere kognitive Entwicklung und Aufmerksamkeitsfähigkeit möglich ist [150]. Als mögliche Ursachen werden pränatale Entwicklungsverzögerungen [150] oder perinatale Hypoxien [52] diskutiert.

BITTMANN et al. führten eine Studie über den Zusammenhang von Schulerfolg mit der Balancefähigkeit bei 774 brandenburgischen Schulkindern im Alter von zehn Jahren durch. Als Testgerät wurde das gleiche posturografische Balancemessverfahren wie für die vorliegende Arbeit verwendet. Dabei wurden die Auswertungsparameter Flächeninhalt und Linienlänge berechnet. Die Schulnoten sowie eine Lehrereinschätzung wurden als Parameter für den Schulerfolg verwendet. Die Ergebnisse zeigten, dass die lernschwachen Schüler ein schlechteres posturales Balanceverhalten gegenüber den nicht lernauffälligen Schülern haben. Bei den lernschwachen Kindern wird ein Defizit in der neuronalen Reifung vermutet [16].

In dieser Studie wurden erstmals Parameter der nichtlinearen Dynamik mitbetrachtet. Dies ergab sich aus der Überlegung heraus, dass lineare Parameter, wie der Flächeninhalt oder die Linienlänge durch singuläre Ereignisse wie eine plötzliche starke Schwankung den Flächeninhalt und die Linienlänge verfälschen können. Durch die sogenannte „Stationäre Epoche“ nach WESSEL kann die posturale Balanceregulation unabhängig von solchen Einflüssen exakter repräsentiert werden. Daher untersuchten BITTMANN et al. die posturale Balancefähigkeit bei den Kindern auch mit Hilfe der Analyse der nichtlinearen Dynamik. Zur Analyse der Schwankungsmuster wurden aus den Zeitreihen Parameter des Zeitbereichs, des Frequenzbereichs und der nichtlinearen Dynamik berechnet. Dabei wurden die Kurzzeitvariabilität und Stationäre-Epoche-Parameter als am besten geeignet validiert. Sie stellten fest, dass leistungsschwache Schüler beim posturalen Balancetest deutlich weniger häufig stabile „stationäre Epochen“ aufwiesen als Schüler mit guten Leistungen (Noten) hatten. Die Autoren vermuten, dass diese bessere Balanceregulation durch ein besser

funktionierendes sensomotorisches System erklärt werden kann, da ein intaktes Nervensystem vor allem supraspinal die posturalen Informationen schneller und exakter verrechnet und geeignete motorische Befehle zur Korrektur generiert [16].

6 Schlussfolgerungen

Aus der Literaturlage und Teilen der Ergebnisse heraus kann man schlussfolgern, dass die posturale Balance unter den koordinativen Fähigkeiten (Leistungsvoraussetzungen) eine herausragende Rolle einnimmt. Sie basiert wie keine andere motorische Funktion weitestgehend auf der Funktion des Sinnes- und Nervensystems. Konditionelle Voraussetzungen sind nur in minimalem Umfang erforderlich. Balance widerspiegelt Nervenfunktion pur.

Damit liegt es nahe, Balance in Zusammenhang mit weiteren Funktionen des Nerven- und Sinnessystems zu sehen. Die vorliegende Arbeit liefert auf Grund der Häufung von - allerdings nichtsignifikanten - Mittelwerttrends Indizien für solche Zusammenhänge. Angesichts der Stichprobenverteilungen wird angenommen, dass die hier betrachteten Stichproben für einen sichereren Nachweis zu klein waren. Um hinreichende Evidenz zu erzielen, sollten weitergehende Untersuchungen mit einem größeren Probandenpool unternommen werden.

Die gefundenen gender-Effekte stehen im Einklang mit der Literaturlage. Mädchen entwickeln sich sowohl motorisch als auch kognitiv anders als Jungen. Dies stimmt auch mit der Beobachtung von Pädagogen überein. Jungen erlangen offensichtlich später ihre volle hirnpysiologische Leistungsfähigkeit. Es ist daher davon auszugehen, dass nicht nur der Zeitpunkt der körperlichen und der geschlechtlichen Ausreifung (Pubertät) zwischen den Geschlechtern differiert, sondern auch der der hirnpysiologischen. Dem sollte im pädagogischen Prozess Rechnung getragen werden. Beispielsweise dürfte eine sehr frühe Selektion (etwa der Zugang zum Gymnasium in Klasse 5) für viele Jungen von Nachteil sein. Bei solchen Entscheidungen sollte der Grad der Reifung des Nervensystems mit berücksichtigt werden. Hierbei könnten auch Balancetests eine Rolle spielen.

Die Literatur und (unter der Voraussetzung einer weiteren Bestätigung durch umfangreichere Studien) die Ergebnisse dieser Arbeit sprechen dafür, dass Balancetests geeignet sein könnten, die künftige kognitive Leistungsfähigkeit eines Kindes vorauszusagen. Auf Grund der Schwäche des Zusammenhangs wird dies sicher nicht auf der Basis der Balanceprüfung alleine möglich sein, jedoch ist denkbar, dass eine multivariate Testbatterie hinreichende Trennschärfe für eine Individualdiagnostik erreichen könnte. Eine Früherkennung von möglichen Lerndefiziten - etwa noch vor Schulentritt - hätte den Vorteil, dass wertvolle Zeit

für eine intensive und gezielte Förderung des betreffenden Kindes gewonnen werden könnte. Andererseits wären aber auch Risiken des Missbrauchs gegeben. So könnte eine frühe Selektion zur Stigmatisierung führen oder die Vorhersage - sowohl im positiven wie auch negativen Sinne - zu nachteiligen psychologischen Reaktionen beim betroffenen Kind führen.

Die Arbeit sowie die Literatur liefern Hinweise, wonach Störungen am Stütz- und Bewegungssystem die Balanceregulation - und damit möglicherweise auch andere Nervenfunktionen affektieren könnte. Daraus ist zu schlussfolgern, dass Irritationen der Lenden-Becken-Hüft-Region in einzelnen Fällen motorische und möglicherweise auch kognitive Funktionen beeinträchtigen könnten. In der medizinischen Betreuung solcher Kinder sollte daher auch dem Aspekt der Körperstatik entsprechende Aufmerksamkeit geschenkt werden. Ein direkter statistischer Zusammenhang zwischen Statikstörung und einer isolierten Intelligenzleistung konnte allerdings nicht gefunden werden.

Die Untersuchung gibt letztlich Anlass, sich mit dem Problem des multiplen Testens auseinander zu setzen. Wäre bei der vorliegenden Untersuchung auf die Bestimmung der Linienlänge verzichtet worden, hätte die statistische Überprüfung bei identischer Stichprobe eine wesentlich höhere Evidenz ergeben. Ein und derselbe Gegenstand würde bei identischer Messung unterschiedliche Aussagen liefern. Das Ergebnis der Studie hängt damit mehr von der Wahl der Methoden ab als vom Gegenstand der Betrachtung selbst. Möglicherweise ist vor diesem Hintergrund die summative Betrachtung der Ergebnisse von Mehrfachmessungen ein methodischer Ausweg.

7 Zusammenfassung

Balance ist als die koordinative Fähigkeit anzusehen, die am meisten durch das Sinnes- und Nervensystem determiniert ist. Damit könnte sie als Indikator für Funktionseinschränkungen des Nervensystems - etwa bei Lernstörungen - von Wert sein. Aussagen über Zusammenhänge zwischen Balance und Kognition werden vielfach diskutiert, sind jedoch noch nicht hinreichend wissenschaftlich gesichert. Hieraus wird die zentrale Zielstellung der Arbeit abgeleitet, das Wissen über somatische und psychische Determinanten von Balance zu erweitern. Betrachtet werden daher bei Vorschulkindern mögliche Zusammenhänge mit dem Geschlecht, mit den anthropometrischen Parametern Körperhöhe und Fußgröße, mit Statikstörungen des Beckens und der Intelligenzleistung.

An der Studie nahmen insgesamt 201 drei- bzw. vierjährige Kinder sowie 148 fünf- bzw. sechsjährige Kinder teil. Die Balancefähigkeit wurde mit Hilfe einer Kraftmomentenplattform sowie eines klinischen Tests erfasst und mit anthropometrischen Parametern, qualitativen statischen Befunden bzw. den Ergebnissen des BIVA-Intelligenztests nach SCHAARSCHMIDT verglichen. Für die Auswertung der Balanceparameter wurden sowohl lineare als auch nichtlineare Verfahren eingesetzt, die zum Teil gegenläufige Trends in Bezug auf Zusammenhänge lieferten.

Im Ergebnis konnte ein starker Einfluss des Geschlechts nachgewiesen werden. Mädchen zeigten eine bessere Balanceleistung als Jungen sowohl bei 3-Jährigen als auch bei 6-Jährigen. Dies wird als Beleg für den geschlechtsspezifischen Vorsprung der sensomotorischen Entwicklung bei den Mädchen im Alter von 3 bis 6 Jahren angesehen. Außerdem gab es einige Hinweise auf einen Zusammenhang mit der Körperhöhe bzw. Fußlänge. Ein Zusammenhang mit den Umstellungen des ersten Gestaltwandels wird vermutet. Die Daten sprechen für einen statistisch schwachen Einfluss von Störungen der Beckenstatik (Beckenverwringung) auf die Balance bei den Kindern. Es wird vermutet, dass die Verrechnung Balance relevanter Inputs durch nozizeptive Impulse beeinträchtigt werden kann. Dies könnte Anlass sein, diesen Aspekt bei Funktionsstörungen mit zu berücksichtigen. Signifikante Zusammenhänge mit Ergebnissen des BIVA-Intelligenztests konnten kaum gefunden werden. Allerdings fallen überzufällig viele Mittelwertvergleiche in Richtung der Hypothese aus, erreichen jedoch nicht Signifikanzniveau. Dies könnte ein Hinweis auf einen schwachen Zusammenhang darstellen, der jedoch mit einer größeren Gruppe noch bestätigt werden müsste. Weitere Forschung auf diesem Gebiet ist erforderlich. Sollte hinreichende Evidenz erreicht werden können, so könnte in der Förderung koordinativer Fähigkeiten und insbesondere der posturalen Balance eine wichtige pädagogische Reserve liegen.

8 Literaturverzeichnis

- [1] *Allard P, Chavet P, Barbier F, Gatto L, Labelle H, Sadeghi H*: Effect of body morphology on standing balance in adolescent idiopathic scoliosis. *Am J Phys Med Rehabil.* 83 (2004) 689-97
- [2] *Allen G, Buxton RB, Wong EC, Courchesne E*: Attentional activation of the cerebellum independent of motor involvement. *Science.* 275 (1997) 1940-3
- [3] *Andersson G, Hagman J, Talianzadeh R, Svedberg A, Larsen HC*: Effect of cognitive load on postural control. *Brain Research Bulletin* 58 (2002) 135-139
- [4] *Andersson G, Yardley L, Luxon L*: A dual task study of interference between mental activity and control of balance. *Am. J. Otolaryngol.* 19 (1998) 632-637
- [5] *Ayres AJ*: Bausteine der kindlichen Entwicklung: die Bedeutung der Integration der Sinne für die Entwicklung des Kindes. Springer. Berlin, Heidelberg, New York, 1998
- [6] *Ayres AJ*: Learning disabilities and the vestibular system. *J Learn Disabil.* 11 (1978) 18-29
- [7] *Badtke G, Bittmann F*: Lehrbuch der Sportmedizin : mit 63 Tabellen / Barth. Heidelberg [u.a.] 1999
- [8] *Bailey S, Davis J, Ahlborn E*: Effect of increased brain serotonergic activity on endurance performance in the rat. *Acta Physiol Scand* 145 (1992) 75-76
- [9] *Bailey S, Davis J, Ahlborn E*: Neuroendocrine and substrate responses to altered brain 5-HT activity during prolonged exercise to fatigue. *J Appl Physiol* 74 (1993) 3006-3012
- [10] *Barchas J, Freedman D*: Brain amines- Response to physiological stress. *Biochemistry and Pharmacology.* 12 (1963) 1232-1235
- [11] *Barrett P, Daum I, Eysenck H*: Sensory nerve conduction and intelligence- A methodological study. *Journal of Psychophysiology* 4(1990) 1-13
- [12] *Bhattacharya A, Shukla R, Dietrich K, Bornschein R, Berger O*: Effect of early lead exposure on children s postural balance. *Dev Med Child Neurol.* 37 (1995) 861-78
- [13] *Biesalski HK, Fürst P, Kasper H, Kluthe R, Pölerl W, Puchstein C, Stähelin HB (Hrsg.)*. Ernährungsmedizin-Nach dem Curriculum Ernährungsmedizin der Bundesärztekammer. Stuttgart, New York Georg Thieme Verl., 2004
- [14] *Birbaumer N, Schmidt RF*: Biologische Psychologie. Springer. Berlin, Heidelberg, New York, 1991
- [15] *Bittmann F*: Zirkuspädagogik und die Entwicklung des Kindes- zirkuspädagogische Ansätze haben eine große Bedeutung für die motorische und kognitive Entwicklung. *Corax.* 5 (2002) 4-7

- [16] *Bittmann F, Gutschow S, Luther S, Wessel N, Kurths J*: Über den funktionellen Zusammenhang zwischen posturaler Balanceregulierung und schulischen Leistungen Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin. 56 (2005) 348-352
- [17] *Bondar A*: Balance and cognition: Resource allocation and its control in young and older adults. Dissertation. Institut für Erziehungswissenschaft und Psychologie. Freien Universität Berlin. 2002.
- [18] *Bouisset S, Duchne JL*: Is body balance more perturbed by respiration in seating than in standing posture? Neuroreport. 5 (1994) 957-60
- [19] *Bove M, Courtine G, Schieppati M*: Neck muscle vibration and spatial orientation during stepping in place in humans. J Neurophysiol. 88 (2002) 2232-41
- [20] *Brauer SG, Woollacott M, Shumway-Cook A*: The interacting effects of cognitive demand and recovery of postural stability in balance-impaired elderly persons. J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 56 (2001) M489-96
- [21] *Brenière Y, Bril B*: Development of postural control of gravity forces in children during the 5 years of walking. Exp Brain Res. 121 (1998) 255-262
- [22] *Brown B, Haegerstrom-Portnoy G, Yingling CD, Herron J, Galin D, Marcus M*: Dyslexic children have normal vestibular responses to rotation. Arch Neurol. 40 (1983) 370-3
- [23] *Cigales M, Field T, Lundy B, Cuadra A, Hart S*: Massage enhances recovery from habituation in normal infants. Infant Behavior and Development. 20 (1997) 29-34
- [24] *Cuthbert S*: Applied Kinesiology and Proprioception- a non-invasive approach to equilibrium and balance disorders. Applied Kinesiology. 19 (2005) 6-11
- [25] *Dault MC, Frank JS, Allard F*: Influence of a visuo-spatial, verbal and central executive working memory task on postural control. Gait Posture. 14 (2001) 110-6
- [26] *Deetjen P, Speckmann EJ (Hrsg.)*. Physiologie. München Wien Baltimore: Urban & Schwarzenberg 1994: 61-210
- [27] *Dishman RK, Renner KJ, White-Welkley JE, Burke KA, Bunnell BN*: Treadmill exercise training augments brain norepinephrine response to familiar and novel stress. Brain Res Bull. 52 (2000) 337-42
- [28] *Dordel S*: Bewegungsförderung in der Schule: Handbuch des Sportförderunterrichts. Verl. Modernes Lernen. Dortmund 2003
- [29] *Dordel S, Breithecker D*: Bewegte Schule als Chance einer Förderung der Lern- und Leistungsfähigkeit. Haltung und Bewegung. 23 (2003) 5-15
- [30] *Dordel S, Breithecker D*: Zur Lern- und Leistungsfähigkeit von Kindern- Aufmerksamkeitsleistung in einer Bewegten Schule Praxis der Psychomotorik. 29 (2004) 50-60

- [31] *Dordel S, Rittershausen A*: Bewegungsförderung als Entwicklungsförderung? Ein Beitrag zur Effizienz des Sportförderunterrichts in der Primarstufe. *Haltung und Bewegung*. 17 (1997) 5-24
- [32] *Draganski B, Gaser C, Busch V, Schuierer G, Bogdahn U, May A*: Neuroplasticity: changes in grey matter induced by training. *Nature*. 427 (2004) 311-2
- [33] *Etnier JL, Salazar W, Landers DM, Petruzzello SJ, Han M, Nowell P*: The influence of physical fitness and exercise upon cognitive functioning: A Meta-Analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology*. 19 (1997) 249-277
- [34] *Fetz F*: *Sensomotorisches Gleichgewicht im Sport*. Österreichischer Bundesverl. Wien, 1990
- [35] *Field T, Hernandez-Reif M, Diego M, Feijo L, Vera Y, Gil K*: Massage therapy by parents improves early growth and development. *Infant Behavior and Development*. 27 (2004) 435-442
- [36] *Figura F, Cama G, Capranica L, Guidetti L, Pulejo C*: Assessment of static balance in children. *J Sports Med Phys Fitness*. 31 (1991) 235-42
- [37] *Fischel W*: *Grundzüge des Zentralnervensystems des Menschen*. Gustav Fischer. Jena, 1976
- [38] Fischer B, *Blicklabor Freiburg* 2003.
- [39] *Flehmig I*: *Normale Entwicklung des Säuglings und ihre Abweichungen-Früherkennung und Frühbehandlung*. Georg Thieme Verlag. Stuttgart. New York, 1990
- [40] *Fleischer H*: *Grundlagen der Statistik* Hofmann Verlag. Schorndorf 1988
- [41] *Flügel B, Greil H, Sommer K*: *Anthropologischer Atlas*. Verlag Tribüne Berlin, 1986
- [42] *Foudriat BA, Di Fabio RP, Anderson JH*: Sensory organization of balance responses in children 3-6 years of age: a normative study with diagnostic implications. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 27 (1993) 255-71
- [43] *Frisch H*: *Programmierte Therapie am Bewegungsapparat-Chirotherapie*. Springer. Berlin, Heidelberg, New York, 1995
- [44] *Frisch H*: *Programmierte Untersuchung des Bewegungsapparats-Chirodiagnostik*. Springer. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, 1993
- [45] *Gardner H*: *Multiple Intelligences: The Theory in Practice*. Basic Books Inc. New York, 1993
- [46] *Gathercole SE, Baddeley AD*: *Working memory and Language*. Lawrence Earlbaum. Hoves 1993

- [47] *Gauchard GC, Lascombes P, Kuhnast M, Perrin PP*: Influence of different types of progressive idiopathic scoliosis on static and dynamic postural control. *Spine*. 26 (2001) 1052-8
- [48] *Gebhart AL, Petersen SE, Thach WT*: Role of the posterolateral cerebellum in language. *Ann N Y Acad Sci*. 978 (2002) 318-33
- [49] *Ghez C, Cooper S, Martin J*: Kinematics and dynamic factors in the coordination of prehension movements. In: *Wing A, Haggard P, Flanagan J (Hrsg.): hand and brain- The neurophysiology and psychology of hand movements* Academic Press, San Diedo, CA, USA, 1996, 187-211
- [50] *Graf C, Kupfer A, Kurth A, Stützer H, Koch B, Jaeschke S, Jouck S, Lawrenz A, Predel HG, Bjarnason-Wehrens B*: Effekte einer interdisziplinären Intervention auf den BMI-SDS sowie die Ausdauerleistungsfähigkeit adipöser Kinder – das CHILT III-Projekt. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. 56 (2005) 353-357
- [51] *Gutschow S*: Der funktionelle Zusammenhang zwischen motorischer Balancefähigkeit und den schulischen Leistungen von Grundschulern. Diplomarbeit. Institut für Sportmedizin und Prävention. Universität Potsdam. 2002.
- [52] *Hadders-Algra M, Groothuis AM*: Quality of general movements in infancy is related to neurological dysfunction, ADHD, and aggressive behaviour. *Dev Med Child Neurol*. 41 (1999) 381-91
- [53] *Haywood KM, Getchell N*: Life span motor Development. *Human Kinetics*. USA, 2001 290-294
- [54] *Hebestreit H, Ferrari R, Meyer-Holz J, Lawrenz W, Jüngst B, (Hrsg.):* Kinder- und Jugendsportmedizin- Grundlagen, Praxis, Trainingstherapie. Georg Thieme Verlag. Stuttgart 2002
- [55] *Heimer M*: The human brain and spinal cord. *Spring*. New York, 1983
- [56] *Hennig J, Netter P*: Biopsychologische Grundlagen der Persönlichkeit Elsevier GmbH. Spektrum Akademischer Verl. . Heidelberg, 2005
- [57] *Herholz K, Buskies W, Rist M, Pawlik G, Hollmann W, Heiss WD*: Regional cerebral blood flow in man at rest and during exercise. *J Neurol*. 234 (1987) 9-13
- [58] *Herrmann J*: Zur Häufigkeit von Statikasymmetrien und Korrelation zu schulischen Leistung bei Schülern der 4. Klasse. Diplomarbeit. Institut für Sportmedizin und Prävention Universität Potsdam. 2002.
- [59] *Hirtz P, Hotz A, Ludwig G*: Gleichgewicht. *Hofmann*. Schorndorf, 2000
- [60] *Hirtz P, Kirchner G, Pöhlmann R, (Hrsg.):* Sportmotorik- Grundlagen, Anwendungen und Grenzgebiete. Fachrichtung Psychologie. Universität Gesamthochschule Kassel. 1997.
- [61] *Hollmann W, Hettinger T*: Sportmedizin. *Schattauer*. Stuttgart [u.a.], 2000

- [62] *Hollmann W, Löllgen H*: Bedeutung der körperlichen Aktivität für kardiale und zerebrale Funktionen. Deutsches Ärzteblatt. 99 (2002) 1379-1381
- [63] *Hollmann W, Strüder H*: Gehirngesundheit, -leistungsfähigkeit und körperliche Aktivität. Deutsche Z Sportmedizin. 54 (2003) 265-266
- [64] *Hollmann W, Strüder H, Tagarakis CVM*: Gehirn und körperliche Aktivität. Sportwissenschaft. 35 (2005) 3-14
- [65] *Hollmann W, Strüder HK, Tagarakis CVM*: Körperliche Aktivität fördert Gehirngesundheit und -Leistungsfähigkeit Übersicht und eigene Befunde. Nervenheilkunde 9(2003) 427-485
- [66] *Hotz A, Weineck J*: Optimales Bewegungslernen perimed Fachbuch-Ver.-Ges Erlangen, 1988
- [67] *Hülshoff T*: Das Gehirn- Funktionen und Funktionseinbußen: eine Einführung für pflegende, soziale und pädagogische Berufe Verlag Huber. Bern, Göttingen, Toronto, Seattle 1996
- [68] *Humphries T, Krekewich K, Snider L*: Evidence of nonverbal learning disability among learning disabled boys with sensory integrative dysfunction. Percept Mot Skills. 82 (1996) 979-87
- [69] *Hunter MC, Hoffman MA*: Postural control: visual and cognitive manipulations. Gait Posture. 13 (2001) 41-8
- [70] *Hynd GW, Hall J, Novey ES, Eliopoulos D, Black K, Gonzalez JJ, Edmonds JE, Riccio C, Cohen M*: Dyslexia and corpus callosum morphology. Arch Neurol. 52 (1995) 32-8
- [71] *Jahn T*: Phonologische Störungen bei Kindern: Diagnostik und Therapie. Thieme Verlag. Stuttgart; New York, 2000
- [72] *Kalat JW*: Biological psychology Belmont. CA. Wadsworth, 1992
- [73] *Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM (Hrsg.)*. Neurowissenschaften- eine Einführung Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akad. Verlag, 1996
- [74] *Keller H, Ayub BV, Kriemler S, Nowacki PE, Saigal S, Bar-Or O*: Motorisches Leistungsprofil 5-7-jähriger frühgeborener Kinder mit einem Geburtsgewicht von 500-1500g. Deutsche Z Sportmedizin 49 (1998) 76-80
- [75] *Kerr BC, S. M.; McDonald, L. A.* : Cognitive spatial processing and the regulation of posture J. Exp. Psychol. 11 (1985) 617-622
- [76] *Kiphard EJ*: Mototherapie -Teil 1. Verlag modernes lernen. Dortmund 1995
- [77] *Kirchner G, Conradi S*: Motorische Entwicklung und motorische Entwicklungspotenzen des Erwachsenenalters. In: Kirchner G, Rohm A, Wittemann G (Hrsg.): Seniorensport-Theorie und Praxis. Meyer und Meyer, Aachen, 1998,

- [78] *Kirchner G, Schaller H-J*: Motorisches Lernen im Alter-Gundlagen und Anwendungsperspektiven. Meyer und Meyer. Aachen 1996
- [79] *Kohen-Raz R*: Learning disabilities and postual control. Freund publishing house. London, 1986
- [80] *Kohen-Raz R, Masalha M*: Relations of basic arithmetic and motor skills in deaf elementary school children. *Percept Mot Skills*. 66 (1988) 275-82
- [81] *Kolb B, Whishaw IQ*: Neuropsychologie Spektrum. Akad. Verl. Heidelberg, Berlin, Oxford, 1996
- [82] *Koneberg L*: Edu-Kinestetik- gezielte Kommunikation mit dem Gehirn- Erfahrungen aus der pädagogischen Beratungsarbeit. *Praxis der Psychomotorik*. 20 (1995) 81-88
- [83] *Kubesch S*: Das bewegte Gehirn- an der Schnittstelle von Sport- und Neurowissenschaft Sportwissenschaft. 34 (2004) 135-144
- [84] *Kuntz S*: Wahrnehmungstherapie und Sprachentwicklungsförderung *Praxis der Psychomotorik*. 20 (1995) 68-74
- [85] *Kurths J, Voss A, Saporin P, Witt A, Kleiner HJ, Wessel N*: Quantitative analysis of heart rate variability. *Chaos*. 5 (1995) 88-94
- [86] *Lajoie Y, Teasdale N, Bard C, Fleury M*: Attentional demands for static and dynamic equilibrium. *Exp. Brain Res*. 97 (1993) 139-144
- [87] *Latash ML*: Neurophysiological basis of movement Human Kinetics Publ. USA, 1998
- [88] *Lewit K*: Muscular and articular factors in movement restriction. *Manual Medicine*. 1 (1985) 83-85
- [89] *Lin CH, Lee HY, Chen JJ, Lee HM, Kuo MD*: Development of a quantitative assessment system for correlation analysis of footprint parameters to postural control in children. *Physiol Meas*. 27 (2006) 119-30
- [90] *Maier K, Ambühl-Caesar G, Rainer S (Hrsg.)*. Entwicklungspsychophysiologie: körperliche Indikatoren psychischer Entwicklung Weinheim: Beltz, Psychologie-Verl.-Union, 1994
- [91] *Majewski A*: Integrative Pädagogisch-therapeutische Entwicklungsförderung (IPE)- Mit kritischen Anmerkungen zur SIB nach J. Ayres *Praxis der Psychomotorik* 29 (2004) 262-268
- [92] *Maki BE, McIlroy WE*: Influence of arousal and attention on the control of postural sway. *J Vestib Res*. 6 (1996) 53-9
- [93] *Maki BE, Whitelaw RS*: Influence of expectation and arousal on center-of-pressure responses to transient postural perturbations. *J Vestib Res*. 3 (1993) 25-39
- [94] *Marées Hd*: Sportphysiologie Sport und Buch Strauss. Köln, 2003

- [95] *Marx E*: Kognitive Entwicklungsförderung bei hörgeschädigten Kinder. Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie. 37 (2005) 36-45
- [96] *Masuhr KF, Neumann M*: Neurologie. Georg Thieme Verlag. Stuttgart, 2005
- [97] *Maylor EA, Wing AM*: Age differences in postural stability are increased by additional cognitive demands. J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci. 51 (1996) P143-54
- [98] *McEvoy MP, Grimmer K*: Reliability of upright posture measurements in primary school children. BMC Musculoskelet Disord. 6 (2005) 35
- [99] *McPhillips M, Hepper PG, Mulhern G*: Effects of replicating primary-reflex movements on specific reading difficulties in children: a randomised, double-blind, controlled trial. Lancet. 355 (2000) 537-41
- [100] *Meeusen R, Piacentini MF, Van Den Eynde S, Magnus L, De Meirleir K*: Exercise performance is not influenced by a 5-HT reuptake inhibitor. Int J Sports Med. 22 (2001) 329-36
- [101] *Meinel K, Schnabel G*: Bewegungslehre - Sportmotorik : Abriß einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt. Sportverl. Berlin, 1998
- [102] *Milz I*: Neuropsychologie für Pädagogen-Neuropsychologische Voraussetzungen für Lernen und Verhalten. Borgmann publishing. Dortmund, 1999
- [103] *Moe-Nilssen R, Helbostad JL, Talcott JB, Toennesen FE*: Balance and gait in children with dyslexia. Exp Brain Res. 150 (2003) 237-44
- [104] *Morningstar MW, Pettibon BR, Schlappi H, Schlappi M, Ireland TV*: Reflex control of the spine and posture: a review of the literature from a chiropractic perspective. Chiropr Osteopat. 13 (2005) 16
- [105] *Morris A, Williams J, Atwater A, Wilmore J*: Age and sex differences in motor performance of 3 through 6 year old children. Res Quart Exer Sport. 53 (1982) 214-221
- [106] *Nicolson RI, Fawcett AJ, Dean P*: Time estimation deficits in developmental dyslexia: evidence of cerebellar involvement. Proc Biol Sci. 259 (1995) 43-7
- [107] *Nieuwenhuys, Voogd, Huijzen v*: The human central nervous system Springer. Berlin Heidelberg New York Tokyo, 1988
- [108] *Odenrick P, Sandstedt P*: Development of postural sway in the normal child. Hum Neurobiol. 3 (1984) 241-4
- [109] *Piggott L, Purcell G, Cummings G, Caldwell D*: Vestibular dysfunction in emotionally disturbed children. Biol Psychiatry. 11 (1976) 719-29
- [110] *Pinel JPJ*: Biopsychologie. Spektrum, Akad. Verl. Heidelberg. Berlin, 2001

- [111] *Poblano A, Ishiwara K, de Lourdes Arias M, Garca-Pedroza F, Marn H, Trujillo M*: Motor control alteration in posturography in learning-disabled children. *Arch Med Res.* 33 (2002) 485-8
- [112] *Poehlman ET, Danforth E*: Endurance training increases metabolic rate and norepinephrine appearance rate in older individuals. *Am J Physiol.* 261 (1991) E233-9
- [113] *Pöppel E, Bullinger M*: Medizinische Psychologie. VCH. Weinheim; Basel; Cambridge; New York, 1990
- [114] *Pozzo T, Papaxanthis C, Stapley P, Berthoz A*: The sensorimotor and cognitive integration of gravity. *Brain Res Brain Res Rev.* 28 (1998) 92-101
- [115] *Prätorius B, Milani TL*: Motorische Leistungsfähigkeit bei Kindern: Koordinations- und Gleichgewichtsfähigkeit: Untersuchung des Leistungsgefälles zwischen Kindern mit verschiedenen Sozialisationsbedingungen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin.* 55 (2004) 172-176
- [116] *Quante M, Hille E*: Proprioception: Eine kritische Analyse zum Stellenwert in der Sportmedizin. *Dtsch Z Sportmed* 50 (1999) 306-310
- [117] *Reed TE, Jensen AR*: Choice reaction time and visual pathway nerve conduction velocity both correlate with intelligence but appear not to correlate with each other: Implications for information processing. *Intelligence.* 17 (1993) 191-203
- [118] *Riach CL, Hayes KC*: Maturation of postural sway in young children. *Dev Med Child Neurol.* 29 (1987) 650-8
- [119] *Roth G*: Entstehen und Funktion von Bewusstsein *Deutsches Ärzteblatt.* 96 (1999) 1957-1961
- [120] *Sauter FC*: POD-4. Prüfung optischer Differenzierungsleistungen bei Vierjährigen. Hogrefe. Göttingen, 2001
- [121] *Sauter FC*: Prüfung optischer Differenzierungsleistungen. POD Westermann. Braunschweig, 1979
- [122] *Sawatzky B, Tredwell S, Sanderson D*: Postural control and trunk imbalance following Cotrel-Dubouset instrumentation for adolescent idiopathic scoliosis. *Gait & Posture.* 5 (1997) 116-119
- [123] *Schaarschmidt U, Ricken G, Kieschke U, Preuß U*: Bildbasierter Intelligenztest für das Vorschulalter. Hogrefe Verl. Göttingen, 2004
- [124] *Scheid V*: Bewegung und Entwicklung im Kleinkindalter- eine empirische Studie über die pädagogische Bedeutung materialer, sozialer und personaler Einflüsse Hofmann. Schorndorf, 1989
- [125] *Scheid V*: Motorische Entwicklung in der frühen Kindheit. In: Baur J (Hrsg.): Motorische Entwicklung- ein Handbuch. Hofmann, Schorndorf, 1994, 260-275

- [126] *Seitz R*: Motorisches Lernen: Untersuchungen mit der funktionellen Bildgebung. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 52 (2001) 343-349
- [127] *Shumway-Cook A, Woollacott MH*: The growth of stability: postural control from a development perspective. J Mot Behav. 17 (1985) 131-47
- [128] *Silbernagl S, Despopoulos A*: Taschenatlas der Physiologie Georg Thieme Verlag. Stuttgart, New York, 1991
- [129] *Skelton DA*: Effects of physical activity on postural stability. Age Ageing. 30 Suppl 4 (2001) 33-9
- [130] *Spitzer M*: Lernen: Gehirnforschung und die Schule des Lebens Spektrum Akad. Verl. Heidelberg, 2002
- [131] Statistik, *Glossar zur Einführung* Fern Universität-Gesamthochschule in Hagen-Institut für Psychologie
- [132] *Steindl R, Ulmer H, Scholtz AW*: Standstabilität im Kindes- und Jugendalter. HNO. 52 (2004) 423-430
- [133] *Steinig B*: Integrative Bewegungstherapie zur Förderung der Persönlichkeitsentwicklung des Kindes im Kindergarten. Praxis der Psychomotik 19 (1994) 208- 213
- [134] *Stoll W, Most E, Tegenthoff M*: Schwindel und Gleichgewichtsstörungen Georg Thieme Verl. Stuttgart. New York, 2004
- [135] *Stoodley CJ, Fawcett AJ, Nicolson RI, Stein JF*: Impaired balancing ability in dyslexic children. Exp Brain Res. 167 (2005) 370-80
- [136] *Talcott JB, Witton C, Hebb GS, Stoodley CJ, Westwood EA, France SJ, Hansen PC, Stein JF*: On the relationship between dynamic visual and auditory processing and literacy skills; results from a large primary-school study. Dyslexia. 8 (2002) 204-25
- [137] *Tallal P, Stark RE, Mellits D*: The relationship between auditory temporal analysis and receptive language development: evidence from studies of developmental language disorder. Neuropsychologia. 23 (1985) 527-34
- [138] *Teipel D*: Studien zur Gleichgewichtsfähigkeit im Sport. Sport und Buch Strauss. Köln 1995
- [139] *Thach WT*: What is the role of the cerebellum in motor learning and cognition? Trends in Cognitive Sciences. 2 (1998) 331-337
- [140] *Thompson RF*: Das Gehirn- von der Nervenzelle zur Verhaltensteuerung. Spektrum, Akad. Verlag. Heidelberg, Berlin, Oxford, 1994
- [141] *Usui N, Maekawa K, Hirasawa Y*: Development of the upright postural sway of children. Dev Med Child Neurol. 37 (1995) 985-96

- [142] *Van Mier HI, Petersen SE*: Role of the cerebellum in motor cognition. *Ann N Y Acad Sci.* 978 (2002) 334-53
- [143] *Vermiglio F, Sidoti M, Finocchiaro MD, Battiato S, Lo Presti VP, Benvenga S, Trimarchi F*: Defective neuromotor and cognitive ability in iodine-deficient schoolchildren of an endemic goiter region in Sicily. *J Clin Endocrinol Metab.* 70 (1990) 379-84
- [144] *Vernon PA, Mori M*: Intelligence, reaction times, and peripheral nerve conduction velocity. *Intelligence.* 16 (1992) 273-288
- [145] *Voelcker-Rehage C*: Der Zusammenhang zwischen motorischer und kognitiver Entwicklung im frühen Kindesalter – Ein Teilergebnis der MODALIS-Studie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin.* 56 (2005)
- [146] *Vogt U*: Die Motorik 3- bis 6jähriger Kinder: ihre Abhängigkeit vom biologischen Entwicklungsstand und sozialen Umweltfaktoren. Verlag Karl Hofmann. Schorndorf, 1978
- [147] *Völker K, Formme A, Kropp C, Leder S, Mooren F, Thorwesten L*: Aspekt der sensomotorischen Leistungsfähigkeit von Seniorentänzerinnen im Vergleich zu inaktiven Seniorinnen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin.* 54 (2003) 22
- [148] *Voss A, Kurths J, Kleiner HJ, Witt A, Wessel N, Saporin P, Osterziel KJ, Schurath R, Dietz R*: The application of methods of non-linear dynamics for the improved and predictive recognition of patients threatened by sudden cardiac death. *Cardiovasc Res.* 31 (1996) 419-33
- [149] *Wickens CD*: Temporal limits of human information processing- A developmental study. *Psychological Bulletin.* 81 (1974)
- [150] *Wijnroks L, Veldhoven Nv*: Individual differences in postural control and cognitive development in preterm infants. *Infant Behavior and Development.* 26 (2003) 14-26
- [151] *Wilke C, Froböse I*: Grundlagen der Bewegungssteuerung und des koordinativen Trainings in der Therapie. In: Froböse I, Nellesen G (Hrsg.): *Training in der Therapie- Grundlagen und Praxis.* Ullstein Medical., Wiesbaden 1998,
- [152] *Wilkening F, Krist H*: Entwicklung der Wahrnehmung und Psychomotorik. In: Oerter R, Montada L (Hrsg.): *Entwicklungspsychologie.* Beltz Verlags Union, Weinheim, 2002, 395-417
- [153] *Wimmer H, Mayringer H, Raberger T*: Reading and dual-task balancing: evidence against the automatization deficit explanation of developmental dyslexia. *J Learn Disabil.* 32 (1999) 473-8
- [154] *Winter R*: Die motorische Entwicklung des Menschen von der Geburt bis ins hohe Alter (Überblick) In: Meinel K, Schnabel G (Hrsg.): *Bewegungslehre- Sportmotorik.* Verlag Volk u. Wissen Berlin, 1987, 275-397

- [155] *Wolff HD*: Neurophysiologische Aspekte des Bewegungssystems- eine Einführung in die neurophysiologische Theorie der manuellen Medizin. Springer. Berlin, Heidelberg, New York 1996
- [156] *Woolacott M, Sveistrup H*: Changes in the sequencing and timing of muscle response coordination associated with developmental transitions in balance abilities. *Human Movement Science*. 11 (1992) 23-36
- [157] *Woolacott MH*: Systems contributing to balance disorders in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 55 (2000) M424-8
- [158] *Wünschel H, Morell-Wünschel A*: Die Bedeutung taktiler und propriozeptiver Wahrnehmung für die kindliche Entwicklung Praxis der Psychomotorik. 20 (1995) 23-32
- [159] *Yap RL, van der Leij A*: Testing the automatization deficit hypothesis of dyslexia via a dual-task paradigm. *J Learn Disabil*. 27 (1994) 660-5
- [160] *Yardley L, Gardner M, Leadbetter A, Lavie N*: Effect of articulatory and mental tasks on postural control. *Neuroreport*. 10 (1999) 215-9
- [161] *Zellner K, Kromeyer-Hauschild K*: Somatische Entwicklung von sehr untergewichtig (<1500 g) bzw. sehr unreif (<32 SSW) geborenen Kindern. *Monatsschrift Kinderheilkunde*. 148 (2000) 131-137

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1 Der Einfluss von körperlicher Aktivität auf die Gehirnplastizität (nach HOLLMANN, STRÜDER 2003, S. 266) [65].....	5
Abb. 2.2 Die Funktionsfelder des somatosensorischen Kortex für die Verarbeitung der propriozeptiven und taktilen Informationen	15
Abb. 2.3 visuelle Informationsübertragungsweg (http://www.psychologie.uni-heidelberg.de/ae/allg).....	16
Abb. 2.4 Regulationszentren und Bahnen für Stützmotorik (nach SILBERNAGL, DESPOPOULOS 1991, S. 285).....	19
Abb. 2.5 Drei sensorische Situationen für posturale Balancetests (http://www.onbalance.com/program/role/cdp/protocols.aspx)	24
Abb. 3.1 Messung der Fußlänge	30
Abb. 3.2 Palpation der Spinae Iliaca Anterior Superior (SIAS).....	31
Abb. 3.3 Palpation der Spinae Iliaca Posterior Superior (SIPS).....	31
Abb. 3.4 Posturografische Kraftmomentanplattform.....	32
Abb. 3.5 Beispiel des M_X - M_Y -Verlaufs bei einem 10-jährigen Schüler während 45 sec. Messung	33
Abb. 3.6 M_{XY} über die Zeit.....	34
Abb. 3.7 oben: Darstellung von $2 z_t(\tau=10) $; unten: Darstellung der dazugehörigen Varianz innerhalb von Fenstern der Breite 200.....	36
Abb. 3.8 Posturografischer Test für Beidbein-Balancetest.....	37
Abb. 3.9 Einbein-Balancetest.....	38
Abb. 3.10 Beispi für OHP: Es ist das Tier zu zeigen, das auf dem blauen (links) und dem grünen Feld (rechts) vorkommt (nach Schaarschmidt et al. 2004 S. 13).....	40
Abb. 3.11 Beispiel für OHN: Es ist das Tier zu zeigen, das nur auf dem grünen (rechts) und nicht auf dem blauen Feld (links) vorkommt (nach Schaarschmidt et al. 2004 S. 14).....	40
Abb. 3.12 Beispiel für WBP: Es sind die Bilder zu zeigen, die zum Wort <i>weich</i> passen. (nach Schaarschmidt et al. 2004 S. 15).....	41
Abb. 3.13 Beispiel für WBN: Es sind die Bilder zu zeigen, die nicht zum Wort <i>Garten</i> passen (nach Schaarschmidt et al. 2004 S. 15).....	41
Abb. 3.14 Beispiel für GF: Die Bilder werden in ungeordneter Reihenfolge vorgegeben. Sie sind so zu legen, dass eine Geschichte entsteht (nach Schaarschmidt et al. 2004 S. 16)	42
Abb. 3.15 Beispiel für RF: Die Tiere sind so auf der vierten Karte anzuordnen, dass die Reihe fortgesetzt wird (nach Schaarschmidt et al. 2004 S. 16)	42
Abb. 4.1 Linienlänge (mm) von dreijährigen Probanden mit geöffneten Augen unterteilt nach Geschlechtern.....	44
Abb. 4.2 Stationäre Epochen von dreijährigen Probanden mit geöffneten Augen unterteilt nach Geschlechtern	45
Abb. 4.3 Linienlänge (mm) von sechsjährigen Probanden mit geöffneten und geschlossenen Augen unterteilt nach Geschlechtern.....	46

Abb. 4.4 Stationäre Epochen von sechsjährigen Probanden mit geöffneten und geschlossenen Augen unterteilt nach Geschlechtern	47
Abb. 4.5 Vergleich der Linienlänge (mm) der Kinder ohne auffällige Beckenstörung (keine BS) mit denen mit auffälliger Beckenstörung (BS) mit geöffneten Augen (Gesamt: $p=0,041$; Jungen: $p=0,157$; Mädchen: $p=0,365$)	50
Abb. 4.6 Vergleich der Linienlänge (mm) der Kinder ohne auffällige Beckenstörung (keine BS) mit denen mit auffälliger Beckenstörung (BS) mit geschlossenen Augen (Gesamt: $p=0,082$, Jungen: $p=0,278$, Mädchen: $p=0,578$)	51
Abb. 4.7 Vergleich der Stationären Epochen der Kinder ohne auffällige Beckenstörung (keine BS) mit denen mit auffälliger Beckenstörung (BS) mit geöffneten Augen (Gesamt: $p=0,051$; Jungen: $p=0,115$; Mädchen: $p=0,351$)	52
Abb. 4.8 Vergleich der Stationären Epochen der Kinder ohne auffällige Beckenstörung (keine BS) mit denen mit auffälliger Beckenstörung (BS) mit geschlossenen Augen (Gesamt: $p=0,053$; Jungen: $p=0,179$; Mädchen: $p=0,318$)	52
Abb. 4.9 Vergleich der Linienlänge (mm) der Kinder ohne auffällige Beinlängendifferenz (keine BD) mit denen mit auffälliger Beinlängendifferenz (BD) mit geöffneten Augen (Gesamt: $p=0,012^*$, Jungen: $p=0,03$, Mädchen: $p=0,407$)	53
Abb. 4.10 Vergleich der Linienlänge (mm) der Kinder ohne auffällige Beinlängendifferenz (keine BD) mit denen mit auffälliger Beinlängendifferenz (BD) mit geschlossenen Augen (Gesamt: $p=0,165$, Jungen: $p=0,09$, Mädchen: $p=0,413$)	54
Abb. 4.11 Vergleich der Stationären Epochen der Kinder ohne auffällige Beinlängendifferenz (keine BD) mit denen mit „auffälliger Beinlängendifferenz (BD)“ mit geöffneten Augen (Gesamt: $p=0,015^*$, Jungen: $p=0,061$, Mädchen: $p=0,222$)	55
Abb. 4.12 Vergleich der Stationären Epochen der Kinder ohne auffällige Beinlängendifferenz (keine BD) mit denen mit auffälliger Beinlängendifferenz (BD) mit geschlossenen Augen (Gesamt: $p=0,343$, Jungen: $p=0,466$, Mädchen: $p=0,934$)	55
Abb. 4.13 Vergleich der Linienlänge (mm) der „hoher OHP-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=25, Jungen=13, Mädchen=12) und der „niedriger OHP-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=23, Jungen=12, Mädchen=11)	57
Abb. 4.14 Vergleich der stationären Epochen der „hoher OHP-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=25, Jungen=13, Mädchen=12) und der „niedriger OHP-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=23, Jungen=12, Mädchen=11)	57
Abb. 4.15 Vergleich der Linienlänge (mm) der „hoher OHN-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=25, Jungen= 13, Mädchen=12) und der „niedriger OHN-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=24, Jungen= 13, Mädchen=11)	58
Abb. 4.16 Vergleich der stationären Epochen der „hoher OHN-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=25, Jungen=13, Mädchen=12) und der „niedriger OHN-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=24, Jungen=13, Mädchen=11)	59
Abb. 4.17 Vergleich der Linienlänge (mm) der „hoher WBP-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=22, Jungen=12, Mädchen=10) und der „niedriger WBP-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=20, Jungen=11, Mädchen=9)	60
Abb. 4.18 Vergleich der stationären Epochen der „hoher WBP-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=22, Jungen=12, Mädchen=10) und der „niedriger WBP-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=20, Jungen=11, Mädchen=9)	61

Abb. 4.19	Linienlängen (mm) im Vergleich der WBN-Extremgruppen („hoher WBN-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=22, Jungen=12, Mädchen=10) und der „niedriger WBN-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=21, Jungen=12, Mädchen=9).....	62
Abb. 4.20	Vergleich der Werte der stationären Epochen der „hoher WBN-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=22, Jungen=12, Mädchen=10) und der „niedriger WBN-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=21, Jungen=12, Mädchen=9)	63
Abb. 4.21	Linienlänge (mm) im Vergleich der „hoher GF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit der „niedriger GF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit geöffneten Augen	65
Abb. 4.22	Linienlänge (mm) im Vergleich der „hoher GF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) und der „niedriger GF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit geschlossenen Augen	65
Abb. 4.23	Stationäre Epochen im Vergleich der „hoher GF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit der „niedriger GF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit geöffneten Augen	66
Abb. 4.24	Stationäre Epochen im Vergleich der „hoher GF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit der „niedriger GF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit geschlossenen Augen	66
Abb. 4.25	Linienlänge (mm) im Vergleich der „hoher RF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit der „niedriger RF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit geöffneten Augen	68
Abb. 4.26	Linienlänge (mm) im Vergleich der „hoher RF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit der „niedriger RF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit geschlossenen Augen	68
Abb. 4.27	Wert für stationären Epochen im Vergleich der „hoher RF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit der „niedriger RF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit geöffneten Augen	70
Abb. 4.28	Wert für die stationären Epochen im Vergleich der „hoher RF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) und der „niedriger RF-Wert“-Gruppe (n: Gesamt=19, Jungen=8, Mädchen=11) mit geschlossenen Augen.....	70
Abb. 4.29	T-Wert (GF) im Vergleich der „gute Balance“-Gruppe (n: Jungen=8, Mädchen=14) mit der „schlechte Balance“-Gruppe (n: Jungen=8, Mädchen=10) beim Einbeinstandtest (Präferenzbein)	71
Abb. 4.30	T-Wert (RF) im Vergleich der „gute Balance“-Gruppe (n: Jungen=8, Mädchen=14) mit der „schlechte Balance“-Gruppe (n: Jungen=8, Mädchen=10) beim Einbeinstandtest (Präferenzbein)	72
Abb. 4.31	T-Werte beim GF-Untertest im Vergleich nach Balanceleistung von Mädchen und Jungen beim Einbeinstandtest auf dem Nicht-Präferenzbein („guter Balance“-Gruppe: n: Jungen=7, Mädchen=12; „schlechter Balance“-Gruppe n: Jungen=10, Mädchen=13))	73
Abb. 4.32	T-Wert (RF) im Vergleich der „guter Balance“-Gruppe (n: Jungen=7, Mädchen=12) mit der „schlechte Balance“-Gruppe (n: Jungen=10, Mädchen=13) beim Einbeinstandtest (nicht Präferenzbein)	73

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1 Korrelationskoeffizienten (vgl. FLEISCHER 1988)	43
Tab. 5.1 Übersicht des Korrelationskoeffizienten (r) nach Pearson zwischen Balancefähigkeit (Linienlänge und Stationäre Epochen) und Körperhöhe bzw. Fußlänge.....	79
Tab. 5.2 Übersicht der Mittelwertvergleiche der Balanceparameter bezüglich Statikstörung: (+): Der Mittelwert der Gruppe mit Statikstörung ist höher als in der Gruppe ohne Statikstörung; (-): Der Mittelwert der Gruppe mit Statikstörung ist niedriger als in der Gruppe ohne Statikstörung;	81
Tab. 5.3 Übersicht der Mittelwertvergleiche zwischen den BIVA-Tests und posturografische Balancetests/ Einbein-Balancetests.....	85

Anhang

I. Geschlecht und sensomotorische posturale Balancefähigkeit und Balance

組別統計量^a

Geschlecht		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	Jung	94	822.54	261.63	26.98
	Maedchen	96	771.78	334.40	34.13
mNNt12w900	Jung	93	.64123	.26034	2.6996E-02
	Maedchen	94	55350	31468	3.2457E-02

a. Age Gruppe = 3-J, Augen auf und Augen zu = Augen auf

檢定統計量^{a,b}

	Flaecheninhalte	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	3565.000	3675.000	3253.000
Wilcoxon W 統計量	8030.000	8140.000	7718.000
Z 檢定	-2.178	-1.881	-3.021
漸近顯著性 (雙尾)	.029	.060	.003

a. 分組變數 : Geschlecht

b. Age Gruppe = 3-J, Augen auf und Augen zu = Augen auf

組別統計量^a

Geschlecht		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	Jung	62	624.06	215.38	27.35
	Maedchen	80	504.11	122.79	13.73
mNNt12w900	Jung	62	.62787	.22903	2.9087E-02
	Maedchen	80	48339	19268	2.1542E-02

a. Age Gruppe = 6-J, Augen auf und Augen zu = Augen auf

檢定統計量^{a,b}

	Flaecheninhalte	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	1464.500	1452.500	1458.000
Wilcoxon W 統計量	4704.500	4692.500	4698.000
Z 檢定	-4.177	-4.226	-4.204
漸近顯著性 (雙尾)	.000	.000	.000

a. 分組變數 : Geschlecht

b. Age Gruppe = 6-J, Augen auf und Augen zu = Augen auf

組別統計量^a

	Geschlecht	個數	平均數	標準差	平均數的 標準誤
Linienlaenge	Jung	62	797.35	227.93	28.95
	Maedchen	78	644.73	173.02	19.59
mNNt12w900	Jung	61	.87449	.32026	4.1005E-02
	Maedchen	78	.67265	.32324	3.6600E-02

a. Age Gruppe = 6-J, Augen auf und Augen zu = Augen zu

檢定統計量^{a,b}

	Flaecheninhalte	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	1374.500	1419.500	1381.000
Wilcoxon W 統計量	4455.500	4500.500	4462.000
Z 檢定	-4.264	-4.073	-4.236
漸近顯著性 (雙尾)	.000	.000	.000

a. 分組變數 : Geschlecht

b. Age Gruppe = 6-J, Augen auf und Augen zu = Augen zu

II. Zum Zusammenhang der anthropometrischen Parameter (Körperhöhe bzw. Fußlänge) mite den Balancedaten

相關^{a,b}

		Linienlaenge	Fusslaenge	mNNt12w900	Koerperhoch
Linienlaenge	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	1.000	-.206 .227	.722** .000	.067 .697
Fusslaenge	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	-.206 .227	1.000	.296 .079	.733** .000
mNNt12w900	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	.722** .000	.296 .079	1.000	.472** .004
Koerperhoch	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	.067 .697	.733** .000	.472** .004	1.000

** 在顯著水準為0.01時 (雙尾), 相關顯著。

a. 完全排除的個數=36

b. Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen auf, Age Gruppe = 3-J

相關^{a,b}

		Linienlaenge	Fusslaenge	mNNt12w900	Koerperhoch
Linienlaenge	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	1.000	-.055 .684	.781** .000	-.103 .444
Fusslaenge	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	-.055 .684	1.000	.241 .068	.697** .000
mNNt12w900	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	.781** .000	.241 .068	1.000	.195 .142
Koerperhoch	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	-.103 .444	.697** .000	.195 .142	1.000

** 在顯著水準為0.01時 (雙尾), 相關顯著。

a. 完全排除的個數=58

b. Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen auf, Age Gruppe = 6-J

相關^{a,b}

		Linienlaenge	Fusslaenge	mNNt12w900	Koerperhoch
Linienlaenge	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	1.000	.017 .900	.790** .000	-.113 .398
Fusslaenge	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	.017 .900	1.000	.359** .006	.697** .000
mNNt12w900	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	.790** .000	.359** .006	1.000	.149 .266
Koerperhoch	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	-.113 .398	.697** .000	.149 .266	1.000

** 在顯著水準為0.01時 (雙尾), 相關顯著。

a. 完全排除的個數=58

b. Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen zu, Age Gruppe = 6-J

相關^{a,b}

		Linienlaenge	Fusslaenge	mNNt12w900	Koerperhoch
Linienlaenge	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	1.000	-.221 .150	.963** .000	-.098 .529
Fusslaenge	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	-.221 .150	1.000	-.041 .791	.574** .000
mNNt12w900	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	.963** .000	-.041 .791	1.000	.011 .944
Koerperhoch	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	-.098 .529	.574** .000	.011 .944	1.000

** 在顯著水準為0.01時 (雙尾), 相關顯著。

a. 完全排除的個數=44

b. Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen auf, Age Gruppe = 3-J

相關^{a,b}

		Linienlaenge	Fusslaenge	mNNt12w900	Koerperhoch
Linienlaenge	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	1.000	-.115 .334	.704** .000	-.129 .278
Fusslaenge	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	-.115 .334	1.000	.203 .085	.747** .000
mNNt12w900	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	.704** .000	.203 .085	1.000	.327** .005
Koerperhoch	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	-.129 .278	.747** .000	.327** .005	1.000

** 在顯著水準為0.01時 (雙尾), 相關顯著。

a. 完全排除的個數=73

b. Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen auf, Age Gruppe = 6-J

相關^{a,b}

		Linienlaenge	Fusslaenge	mNNt12w900	Koerperhoch
Linienlaenge	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	1.000	.020 .867	.773** .000	.116 .337
Fusslaenge	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	.020 .867	1.000	.263* .027	.761** .000
mNNt12w900	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	.773** .000	.263* .027	1.000	.428** .000
Koerperhoch	Pearson 相關 顯著性 (雙尾)	.116 .337	.761** .000	.428** .000	1.000

** 在顯著水準為0.01時 (雙尾), 相關顯著。

* 在顯著水準為0.05 時 (雙尾), 相關顯著。

a. 完全排除的個數=71

b. Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen zu, Age Gruppe = 6-J

III. Statik und sensomotorische posturale Balancefähigkeit

組別統計量^a

Beckenstoerung		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	keine Beckenstoerung	46	617.93	234.81	34.62
	Beckenstoerung	16	641.69	150.97	37.74
mNNt12w900	keine Beckenstoerung	46	.59927	.21956	3.2372E-02
	Beckenstoerung	16	.71010	.24286	6.0714E-02

a. Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen auf

檢定統計量^{a,b}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	280.000	270.000
Wilcoxon W 統計量	1361.000	1351.000
Z 檢定	-1.416	-1.577
漸近顯著性 (雙尾)	.157	.115

a. 分組變數 : Beckenstoerung

b. Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen auf

組別統計量^a

Beckenstoerung		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	keine Beckenstoerung	45	781.07	243.33	36.27
	Beckenstoerung	16	827.38	177.71	44.43
mNNt12w900	keine Beckenstoerung	45	.84882	.33152	4.9419E-02
	Beckenstoerung	16	.94669	.28345	7.0862E-02

a. Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen zu

檢定統計量^{a,b}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	300.500	278.000
Wilcoxon W 統計量	1381.500	1313.000
Z 檢定	-1.086	-1.344
漸近顯著性 (雙尾)	.278	.179

a. 分組變數 : Beckenstoerung

b. Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen zu

組別統計量^a

Beckenstoerung		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	keine Beckenstoerung	67	502.84	130.17	15.90
	Beckenstoerung	13	510.69	77.59	21.52
mNNt12w900	keine Beckenstoerung	67	.48074	.20478	2.5018E-02
	Beckenstoerung	13	.49706	.11628	3.2250E-02

a. Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen auf

檢定統計量 a,b

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	366.000	364.000
Wilcoxon W 統計量	2644.000	2642.000
Z 檢定	-.906	-.932
漸近顯著性 (雙尾)	.365	.351

- a. 分組變數 : Beckenstoerung
 b. Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen auf

組別統計量 a

		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	keine Beckenstoerung	65	642.42	181.48	22.51
	Beckenstoerung	13	656.31	127.60	35.39
mNNt12w900	keine Beckenstoerung	65	.66979	.34273	4.2511E-02
	Beckenstoerung	13	.68694	.20903	5.7975E-02

- a. Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen zu

檢定統計量 a,b

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	381.000	348.000
Wilcoxon W 統計量	2526.000	2493.000
Z 檢定	-.556	-.999
漸近顯著性 (雙尾)	.578	.318

- a. 分組變數 : Beckenstoerung
 b. Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen zu

組別統計量 a

		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gleich Beinlaenge	39	594.03	218.22	34.94
	Beinlaengerdifferenz	23	675.00	205.08	42.76
mNNt12w900	gleich Beinlaenge	39	.58690	.22047	3.5304E-02
	Beinlaengerdifferenz	23	.69734	.23122	4.8213E-02

- a. Augen auf und Augen zu = Augen auf, Geschlecht = Jung

檢定統計量 a,b

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	299.500	320.000
Wilcoxon W 統計量	1079.500	1100.000
Z 檢定	-2.171	-1.873
漸近顯著性 (雙尾)	.030	.061

- a. 分組變數 : Beinlaengerdifferenz
 b. Augen auf und Augen zu = Augen auf, Geschlecht = Jung

組別統計量^a

Beinlaengendifferenz		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gleich Beinlaenge	62	504.03	133.94	17.01
	Beinlaengerdifferenz	18	504.39	75.48	17.79
mNNt12w900	gleich Beinlaenge	62	.48058	.21063	2.6750E-02
	Beinlaengerdifferenz	18	.49309	.11491	2.7084E-02

a. Augen auf und Augen zu = Augen auf, Geschlecht = Maedchen

檢定統計量^{a,b}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	486.000	452.000
Wilcoxon W 統計量	2439.000	2405.000
Z 檢定	-.830	-1.221
漸近顯著性 (雙尾)	.407	.222

a. 分組變數 : Beinlaengendifferenz

b. Augen auf und Augen zu = Augen auf, Geschlecht = Maedchen

組別統計量^a

Beinlaengendifferenz		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gleich Beinlaenge	38	765.61	241.73	39.21
	Beinlaengerdifferenz	23	838.83	198.35	41.36
mNNt12w900	gleich Beinlaenge	38	.86086	.33736	5.4727E-02
	Beinlaengerdifferenz	23	.89701	.29574	6.1666E-02

a. Augen auf und Augen zu = Augen zu, Geschlecht = Jung

檢定統計量^{a,b}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	323.000	388.000
Wilcoxon W 統計量	1064.000	1129.000
Z 檢定	-1.697	-.729
漸近顯著性 (雙尾)	.090	.466

a. 分組變數 : Beinlaengendifferenz

b. Augen auf und Augen zu = Augen zu, Geschlecht = Jung

組別統計量^a

Beinlaengendifferenz		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gleich Beinlaenge	60	654.03	176.89	22.84
	Beinlaengerdifferenz	18	613.72	160.24	37.77
mNNt12w900	gleich Beinlaenge	60	.68147	.34207	4.4161E-02
	Beinlaengerdifferenz	18	.64325	.25681	6.0532E-02

a. Augen auf und Augen zu = Augen zu, Geschlecht = Maedchen

檢定統計量 a,b

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	471.000	533.000
Wilcoxon W 統計量	642.000	704.000
Z 檢定	-.818	-.083
漸近顯著性 (雙尾)	.413	.934

a. 分組變數 : Beinlaengendifferenz

b. Augen auf und Augen zu = Augen zu, Geschlecht = Maedchen

IV. Zum Zusammenhang zwischen sensomotorischer posturaler Balancefähigkeit und der Intelligenzleistung

OHP

組別統計量^a

OHP AG 42~50		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gut	13	950.15	226.64	62.86
	schlecht/Abbruch	12	833.42	118.21	34.13
mNNt12w900	gut	13	.76944	.33664	9.3367E-02
	schlecht/Abbruch	12	.63860	.15765	4.5509E-02

a. Age Gruppe = 3-J, Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen auf

檢定統計量^{b,c}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	57.000	67.000
Wilcoxon W 統計量	135.000	145.000
Z 檢定	-1.142	-.598
漸近顯著性 (雙尾)	.253	.550
精確顯著性 [2*(單尾顯著性)]	.270 ^a	.574 ^a

a. 未對等值結做修正。

b. 分組變數 : OHP AG 42~50

c. Age Gruppe = 3-J, Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen auf

組別統計量^a

OHP AG 42~50		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gut	12	788.58	240.32	69.37
	schlecht/Abbruch	11	796.36	162.40	48.96
mNNt12w900	gut	12	.51374	.25070	7.2371E-02
	schlecht/Abbruch	10	.50274	.18374	5.8102E-02

a. Age Gruppe = 3-J, Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen auf

檢定統計量^{b,c}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	46.000	55.000
Wilcoxon W 統計量	124.000	133.000
Z 檢定	-.923	-.330
漸近顯著性 (雙尾)	.356	.742
精確顯著性 [2*(單尾顯著性)]	.381 ^a	.771 ^a

a. 未對等值結做修正。

b. 分組變數 : OHP AG 42~50

c. Age Gruppe = 3-J, Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen auf

OHN

組別統計量^a

OHN AG 42~50		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gut	13	892.54	252.48	70.03
	schlecht/Abbruch	13	894.08	235.89	65.42
mNNt12w900	gut	13	.63217	.25893	7.1814E-02
	schlecht/Abbruch	13	.67300	.26593	7.3755E-02

a. Age Gruppe = 3-J, Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen auf

檢定統計量^{b,c}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	77.000	81.000
Wilcoxon W 統計量	168.000	172.000
Z 檢定	-.385	-.179
漸近顯著性 (雙尾)	.701	.858
精確顯著性 [2*(單尾顯著性)]	.724 ^a	.880 ^a

a. 未對等值結做修正。

b. 分組變數 : OHN AG 42~50

c. Age Gruppe = 3-J, Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen auf

組別統計量^a

OHN AG 42~50		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gut	12	716.50	124.10	35.83
	schlecht/Abbruch	11	894.36	246.05	74.19
mNNt12w900	gut	12	.46047	.17045	4.9206E-02
	schlecht/Abbruch	10	.59545	.22816	7.2151E-02

a. Age Gruppe = 3-J, Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen auf

檢定統計量^{b,c}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	22.500	37.000
Wilcoxon W 統計量	100.500	115.000
Z 檢定	-2.474	-1.517
漸近顯著性 (雙尾)	.013	.129
精確顯著性 [2*(單尾顯著性)]	.011 ^a	.140 ^a

a. 未對等值結做修正。

b. 分組變數 : OHN AG 42~50

c. Age Gruppe = 3-J, Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen auf

WBP

組別統計量^a

WBP AG 48~56		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gut	12	889.83	306.83	88.57
	schlecht/Abbruch	11	941.91	226.55	68.31
mNNt12w900	gut	12	.73677	.38460	.11102
	schlecht/Abbruch	10	.77335	.22805	.72114E-02

a. Age Gruppe = 3-J, Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen auf

檢定統計量^{b,c}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	47.000	44.000
Wilcoxon W 統計量	125.000	122.000
Z 檢定	-.857	-1.055
漸近顯著性 (雙尾)	.391	.291
精確顯著性 [2*(單尾顯著性)]	.418 ^a	.314 ^a

a. 未對等值結做修正。

b. 分組變數 : WBP AG 48~56

c. Age Gruppe = 3-J, Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen auf

組別統計量^a

WBP AG 48~56		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gut	10	871.20	238.65	75.47
	schlecht/Abbruch	9	836.22	190.07	63.36
mNNt12w900	gut	10	.61334	.19166	6.0609E-02
	schlecht/Abbruch	9	.52466	.24260	8.0868E-02

a. Age Gruppe = 3-J, Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen auf

檢定統計量^{b,c}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	43.000	26.000
Wilcoxon W 統計量	88.000	71.000
Z 檢定	-.163	-1.551
漸近顯著性 (雙尾)	.870	.121
精確顯著性 [2*(單尾顯著性)]	.905 ^a	.133 ^a

a. 未對等值結做修正。

b. 分組變數 : WBP AG 48~56

c. Age Gruppe = 3-J, Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen auf

WBN

組別統計量^a

WBN AG 48~56		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gut	12	829.00	236.15	68.17
	schlecht/Abbruch	12	952.75	259.37	74.87
mNNt12w900	gut	12	.65976	.33969	9.8059E-02
	schlecht/Abbruch	11	.75276	.14130	4.2603E-02

a. Age Gruppe = 3-J, Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen auf

檢定統計量^{b,c}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	34.000	40.000
Wilcoxon W 統計量	112.000	118.000
Z 檢定	-1.970	-1.600
漸近顯著性 (雙尾)	.049	.110
精確顯著性 [2*(單尾顯著性)]	.051 ^a	.118 ^a

a. 未對等值結做修正。

b. 分組變數 : WBN AG 48~56

c. Age Gruppe = 3-J, Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen auf

組別統計量^a

WBN AG 48~56		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gut	10	793.20	144.24	45.61
	schlecht/Abbruch	9	971.78	318.22	106.07
mNNt12w900	gut	10	.57301	.15648	4.9485E-02
	schlecht/Abbruch	9	.66536	.28171	9.3904E-02

a. Age Gruppe = 3-J, Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen auf

檢定統計量^{b,c}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	34.000	40.000
Wilcoxon W 統計量	89.000	95.000
Z 檢定	-.898	-.408
漸近顯著性 (雙尾)	.369	.683
精確顯著性 [2*(單尾顯著性)]	.400 ^a	.720 ^a

a. 未對等值結做修正。

b. 分組變數 : WBN AG 48~56

c. Age Gruppe = 3-J, Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen auf

組別統計量^a

GF AG 66-77		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gut	8	577.88	139.77	49.42
	schlecht/Abbruch	8	624.63	359.43	127.08
mNNt12w900	gut	8	.60146	.25002	8.8394E-02
	schlecht/Abbruch	8	.66156	.28496	.10075

a. Age Gruppe = 6-J, Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen auf

檢定統計量^{b,c}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	24.000	31.000
Wilcoxon W 統計量	60.000	67.000
Z 檢定	-.840	-.105
漸近顯著性 (雙尾)	.401	.916
精確顯著性 [2*(單尾顯著性)]	.442 ^a	.959 ^a

a. 未對等值結做修正。

b. 分組變數 : GF AG 66-77

c. Age Gruppe = 6-J, Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen auf

組別統計量^a

GF AG 66-77		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gut	8	751.25	171.01	60.46
	schlecht/Abbruch	8	816.50	301.58	106.63
mNNt12w900	gut	7	.74228	.20853	7.8816E-02
	schlecht/Abbruch	8	1.05693	.37810	.13368

a. Age Gruppe = 6-J, Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen zu

檢定統計量^{b,c}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	23.000	11.000
Wilcoxon W 統計量	51.000	39.000
Z 檢定	-.579	-1.967
漸近顯著性 (雙尾)	.563	.049
精確顯著性 [2*(單尾顯著性)]	.613 ^a	.054 ^a

a. 未對等值結做修正。

b. 分組變數 : GF AG 66-77

c. Age Gruppe = 6-J, Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen zu

組別統計量^a

GF AG 66-77		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gut	11	503.27	66.66	20.10
	schlecht/Abbruch	11	525.91	114.20	34.43
mNNt12w900	gut	11	.47177	.13178	3.9734E-02
	schlecht/Abbruch	11	.49979	.18540	5.5900E-02

a. Age Gruppe = 6-J, Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen auf

檢定統計量^{b,c}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	52.500	60.000
Wilcoxon W 統計量	118.500	126.000
Z 檢定	-.525	-.033
漸近顯著性 (雙尾)	.599	.974
精確顯著性 [2*(單尾顯著性)]	.606 ^a	1.000 ^a

a. 未對等值結做修正。

b. 分組變數 : GF AG 66-77

c. Age Gruppe = 6-J, Geschlecht = Maedchen, Auger auf und Augen zu = Augen auf

組別統計量^a

GF AG 66-77		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gut	11	646.73	147.25	44.40
	schlecht/Abbruch	11	670.27	191.24	57.66
mNNt12w900	gut	11	.75329	.35242	.10626
	schlecht/Abbruch	11	.67055	.32342	.97515E-02

a. Age Gruppe = 6-J, Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen zu

檢定統計量^{b,c}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	53.000	53.000
Wilcoxon W 統計量	119.000	119.000
Z 檢定	-.492	-.492
漸近顯著性 (雙尾)	.622	.622
精確顯著性 [2*(單尾顯著性)]	.652 ^a	.652 ^a

a. 未對等值結做修正。

b. 分組變數 : GF AG 66-77

c. Age Gruppe = 6-J, Geschlecht = Maedchen, Auger auf und Augen zu = Augen zu

RF

組別統計量^a

RF AG 66-77		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gut	8	539.38	74.39	26.30
	schlecht/Abbruch	8	532.63	57.90	20.47
mNNt12w900	gut	8	.54044	.18122	6.4072E-02
	schlecht/Abbruch	8	.63593	.17150	6.0634E-02

a. Age Gruppe = 6-J, Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen auf

檢定統計量^{b,c}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	31.000	23.000
Wilcoxon W 統計量	67.000	59.000
Z 檢定	-.105	-.945
漸近顯著性 (雙尾)	.916	.345
精確顯著性 [2*(單尾顯著性)]	.959 ^a	.382 ^a

a. 未對等值結做修正。

b. 分組變數 : RF AG 66-77

c. Age Gruppe = 6-J, Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen auf

組別統計量^a

RF AG 66-77		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gut	8	700.50	136.89	48.40
	schlecht/Abbruch	8	751.75	168.79	59.68
mNNt12w900	gut	8	.73363	.25548	9.0326E-02
	schlecht/Abbruch	8	.95478	.28495	10075

a. Age Gruppe = 6-J, Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen zu

檢定統計量^{b,c}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	22.000	11.000
Wilcoxon W 統計量	58.000	47.000
Z 檢定	-1.050	-2.205
漸近顯著性 (雙尾)	.294	.027
精確顯著性 [2*(單尾顯著性)]	.328 ^a	.028 ^a

a. 未對等值結做修正。

b. 分組變數 : RF AG 66-77

c. Age Gruppe = 6-J, Geschlecht = Jung, Augen auf und Augen zu = Augen zu

組別統計量^a

RF AG 66-77		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gut	11	510.82	86.87	26.19
	schlecht/Abbruch	11	500.36	97.03	29.26
mNNt12w900	gut	11	.54313	.13829	4.1697E-02
	schlecht/Abbruch	11	.47349	8.9705E-02	2.7047E-02

a. Age Gruppe = 6-J, Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen auf

檢定統計量^{b,c}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	51.000	42.000
Wilcoxon W 統計量	117.000	108.000
Z 檢定	-.624	-1.215
漸近顯著性 (雙尾)	.533	.224
精確顯著性 [2*(單尾顯著性)]	.562 ^a	.243 ^a

a. 未對等值結做修正。

b. 分組變數 : RF AG 66-77

c. Age Gruppe = 6-J, Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen auf

組別統計量^a

RF AG 66-77		個數	平均數	標準差	平均數的標準誤
Linienlaenge	gut	11	684.27	116.02	34.98
	schlecht/Abbruch	11	630.73	177.06	53.38
mNNt12w900	gut	11	.79802	.27082	8.1657E-02
	schlecht/Abbruch	11	.71842	.31790	9.5849E-02

a. Age Gruppe = 6-J, Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen zu

檢定統計量^{b,c}

	Linienlaenge	mNNt12w900
Mann-Whitney U 統計量	51.000	49.000
Wilcoxon W 統計量	117.000	115.000
Z 檢定	-.624	-.755
漸近顯著性 (雙尾)	.533	.450
精確顯著性 [2*(單尾顯著性)]	.562 ^a	.478 ^a

a. 未對等值結做修正。

b. 分組變數 : RF AG 66-77

c. Age Gruppe = 6-J, Geschlecht = Maedchen, Augen auf und Augen zu = Augen zu

Danksagung

Mein tiefster Dank gilt Herrn Prof. Dr. rer. nat. F. Bittmann für die Überlassung des interessanten Dissertationsthemas. Besonders möchte ich mich bei ihm für seine fachlich äußerst kompetente, stets sehr motivierende Unterstützung und geduldige Betreuung bedanken.

Herrn Prof. Dr. med. G. Badtke danke ich für seine organisatorische und fachliche Betreuung.

Für die Unterstützung bei der nichtlinearen Analyse der Daten möchte ich mich bei Herr Dr. N. Wessel, Herr M. Riedel und Frau Dr. M. Romano aus der Arbeitsgruppe Nichtlineare Dynamik des Instituts für Physik der Universität Potsdam (Leiter: Prof. Kurths) herzlich bedanken.

Nicht vergessen möchte ich, mich bei Frau K. Degenhardt, Frau J. Herrmann, Frau J. Giesch, Herr N. Radeiski und allen Mitarbeitern des Instituts für Sportmedizin und Prävention der Universität Potsdam zu bedanken.

Allen beteiligten Probandinnen und Probanden möchte ich für ihre Freude, Motivation zur Bestleistung danken.

Abschließend verbindet mich tiefste Dankbarkeit mit meinen Eltern An-Jen Chan und Lin-Chu Chang, ohne deren Unterstützung und Geduld meine Promotion sich nicht so positiv gestaltet hätte.

Lebenslauf

Yuan-Shuo Chan

Persönliche Daten

Geburtsdatum: 01. 12. 1975

Geburtsort: Taipeh

Familienstand: ledig

Nationalität: Taiwan

Ausbildungsdaten

1982-1988 Shin-Lin Grundschule

1988-1991 Shin-Lin Mittelschule

1991-1994 Besuch des Gymnasiums in Taipeh mit dem Abschluss des Reifezeugnis

1994-1998 National College of Physical Education and Sports (national Sporthochschule), Fachrichtung: Athletic Training and Health, erreichter Abschluss: **Bachelor of Science**

1998/10~2000/9 **PNdS** (erfolgreiche Teilnahme am Deutschkurs mit bestandener Sprachprüfung)

Deutsche Sporthochschule Köln (DSHS)

ZaDF (Certificate of basic German language)

Deutsche Goethe Institute

Ergebnis: gut

2000/10-2003/6 Deutsche Sporthochschule Köln: Studienschwerpunkt: Prävention und Rehabilitation.

Erste Spezialisierung: Bewegungstherapie für die Erkrankungen der inneren Organe

Zweite Spezialisierung: Sport Rehabilitation

Abschluss: **Diplom-Sportwissenschaftler**

2003/10-2006/7 Universität Potsdam: Promotion an der Institut für Sportmedizin und Prävention

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass die eingereichte Dissertation zum Thema

Zum Zusammenhang zwischen posturaler Balance und kognitiven bzw. somatischen Faktoren

von mir selbständig und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt wurde. In Bezug auf die nichtlineare dynamische Analytik erfolgte eine Kooperation mit dem Arbeitsbereich Nichtlineare Dynamik der Universität Potsdam (Prof. Kurths, Dr. Wessel, Dr. Romano, M. Riedl). Alle wörtlich oder inhaltlich übernommenen Textstellen wurden als solche gekennzeichnet.

Diese Arbeit wurde bisher weder als Ganzschrift veröffentlicht, noch wurde sie im Rahmen eines Promotionsverfahrens an einer anderen Hochschule eingereicht.

Hiermit bestätige ich, dass die Fakultät im Falle der erfolgreichen Verteidigung der Dissertation die Zusammenfassung der Arbeit veröffentlichen kann.

Erster Gutachter: Prof. Frank Bittmann

Zweiter Gutachter: Prof. Andree Niklas

Disputationsdatum: 26. 10. 2006

Yuan-Shuo Chan