

Bittmann F¹, Gutschow S¹, Luther S¹, Wessel N², Kurths J²

Über den funktionellen Zusammenhang zwischen posturaler Balanceregulierung und schulischen Leistungen

On the functional relationship between postural motor balance and performance at school

¹ Institut für Sportmedizin und Prävention, Universität Potsdam

² Institut für Physik – Arbeitsgruppe Nichtlineare Dynamik, Universität Potsdam

Zusammenfassung

In ganzheitlichen regulationsmedizinischen Betrachtungsweisen des Biosystems Mensch sind sowohl geistige als auch motorische Leistungen gleichermaßen Ergebnis der Funktion des Nervensystems. Danach ist anzunehmen, dass sich generalisierte Störungen oder Reifungsdefizite des zentralen Nervensystems in kognitiven wie auch motorischen Auffälligkeiten niederschlagen. Um Belege für die genannte These zu erhalten, wird mit der vorliegenden Studie ein möglicher Zusammenhang zwischen Balancefähigkeit und Schulerfolg geprüft.

Unter Verwendung eines posturographischen Messsystems mit Kraftmomentensensorik wurden bei 773 Kindern (011 ± 1 Jahre) im Einbeinstand Kraftmomente unter der Fußsohle als Äußerung der posturalen Balanceregulation aufgezeichnet. Die so erhaltenen Datenreihen wurden durch lineare sowie nichtlineare Zeitreihenanalysen ausgewertet und mit Lehrereinschätzungen zum schulischen Leistungsstand der Kinder in Beziehung gesetzt. Es ergaben sich hoch signifikante Unterschiede der Balanceregulierung zwischen den beiden Extremgruppen der Schulleistung. Gute und lernauffällige Schüler konnten anhand der Balancedaten zu über 80 % unterschieden werden.

Die Daten stützen die eingangs abgeleitete These, wonach motorische wie kognitive Leistungen als Ergebnisse neuraler Funktionen zusammenhängen. In der weiteren Arbeit ist zu prüfen, ob der genutzte methodische Ansatz so weit entwickelt werden kann, dass er in der jugendärztlichen Frühdiagnostik des zu erwartenden Schulerfolgs zum Einsatz kommen könnte.

Schlüsselwörter: Hirnreifung, Kognition, posturale Balanceregulierung, Schulleistung, Lernstörungen, nichtlineare Zeitreihenanalysen

Einleitung und Problemstellung

Die bei deutschen Kindern mit PISA gefundenen Lerndefizite haben ein sehr breites und intensives öffentliches Echo gefunden, mehr als es Berichte zu körperlichen Schwächen je vermocht hätten. Nach PISA (1) gab es in Deutschland eine Flut von Änderungsvorschlägen für unser Schulsystem, um das Zukunftspotential Intelligenz zu sichern. Da viele dieser Vorschläge tendenziell vermehrt und früher einsetzenden Fachunterricht fordern, steht zu befürchten, dass sie das ohnehin schon geringe Zeitbudget für Bewegung in der Schule weiter beschneiden werden. Um dieser Gefahr zu begegnen, sollte wieder ver-

Summary

In integrated medical considerations of the biological human system, both intellectual and motor performances in a similar manner are considered as a result of the function of the nervous system. Consequently, universal minimal dysfunctions of the central nervous system may lead to both intellectual and physical anomalies. Therefore, this study tests the hypothesis that there is a connection between the balance ability as a motor parameter and school success as an intellectual parameter.

A postural measuring system based on the force-moment sensor technique was used to record the postural balance regulation of 773 children (011 ± 1 years). The school achievement of each child was determined by school grades. Data analysis was performed by linear as well as by nonlinear time series analyses.

There are highly significant differences in balance regulation between good and poor pupils recognized by several linear and nonlinear parameters. Good pupils could be discriminated from pupils with bad results in learning to 80 %.

The results support the hypothesis mentioned above. One possible explanation for the poor regulation of balance in bad learners could be a deficit in the neural maturity. In future, further developments will be targeted on higher discrimination levels, possibly in order to predict school success. On the other hand, the effects of special movement exercises on the neural development in childhood will be the focus in our further work.

Key words: Brain maturation, cognition, regulation of postural balance, school performance, learning disabilities, nonlinear time series analysis

mehrt auf die Einheit von Geist, Seele und Körper aufmerksam gemacht werden.

Sowohl geistige als auch motorische Leistungen sind gleichermaßen Ergebnis der Funktion des Nervensystems. Damit liegt nahe, dass sich generalisierte Störungen oder Reifungsdefizite des zentralen Nervensystems in geistigen wie auch körperlichen Auffälligkeiten niederschlagen können. Insbesondere die sonderpädagogisch orientierte Literatur liefert hierfür eine Reihe von Hinweisen (10, 11, 12, 20). Konzepte wie Dennison's Brain-Gym (Lateralitätsbahnung) oder die Edu-Kinesiologie zielen darauf ab, körperliche Bewegungsmuster mit Lerntraining zu verbinden und damit kognitive Leistungen in der Schule zu verbessern (3, 4, 5). Gerade letztere entstammen der Empirie im Rahmen praktischer

Pädagogik und sind aber wissenschaftlich nur unzureichend gesichert. Gleiches kann man zu den Konzepten von Doman und Delcato (6) sagen, die durch das Nachholen frühkindlicher Bewegungsphasen (z.B. Kreuzkoordination beim Krabbeln) die Hirnreifung nachträglich stimulieren wollen.

Die vorliegende Studie will einen Beitrag zur Erforschung der Zusammenhänge von Motorik und Kognition leisten. Ein Wissenszuwachs auf diesem Gebiet wäre insbesondere für die Weiterentwicklung der pädagogischen Förderung v.a. im Alter der besonders intensiven neuronalen Reifung von Bedeutung. Nach der Literaturlage (3, 10, 11, 12) bietet sich insbesondere die Balancefähigkeit für eine solche Untersuchung an, erfordert doch deren Regulation einen enormen neuronalen Rechenaufwand vieler sensomotorischer Areale bei minimaler konditioneller Beanspruchung. Die vorliegende Studie überprüft daher einen möglichen Zusammenhang der Gleichgewichtsregulierung mit einem recht globalen Parameter für geistige Leistung – dem Schulerfolg.

Probanden und Methoden

Probanden

In Kooperation mit und gefördert durch das ‚Ministerium für Bildung Jugend und Sport‘ des Landes Brandenburg wurden 2001 Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Schulerfolg und motorischen sowie anderen somatischen Parametern an 773 Grundschulkindern durchgeführt. Die Studie lief in Brandenburg begleitend zur Internationalen Grundschul-Leseuntersuchung (IGLU), innerhalb der in über 30 Staaten die Lesefähigkeit von Viertklässlern erfasst wurde. Die männlichen ($n=367$) und weiblichen ($n=364$) Probanden waren $11,0 \text{ SD} \pm 1$ Jahre alt. Die Untersuchungen fanden an 21 vom Ministerium für das Bundesland Brandenburg als repräsentativ ausgewiesenen Schulen statt.

Untersuchungsdesign

Die Daten für die Klassifizierung des Schulerfolgs wurden durch Einschätzungen der Klassenlehrer für die Lese-Rechtschreib-Leistungen sowie die Rechen-Leistungen der Schüler entsprechend dem Schulnotensystem erhoben. Dabei sollten die Einschätzungen nicht den momentanen Leistungsstand der Kinder widerspiegeln, sondern eine mittelfristige Gesamtbeurteilung der Lese- und Rechenfähigkeit aus Lehrersicht darstellen.

Unabhängig davon und ohne Kenntnis dieser Einschätzung wurde die Gleichgewichtsfähigkeit des Kindes erfasst. Dies erfolgte durch ein posturographisches Balancemessverfahren mit Kraftmomentensensorik, entwickelt von der Fa. ipeA GmbH, Berlin, gefertigt von der Fa. Innotech GmbH.

Die Messungen erfolgten einbeinig stehend jeweils auf dem rechten bzw. linken Bein über eine Dauer von 45s. Gemessen wurde ohne Schuhwerk immer zuerst auf dem rechten Bein, nachdem im Vorfeld das jeweilige Präferenzbein bestimmt wurde. Die Abtastrate betrug (technisch bedingt) 92,6 Hz. Die Kinder hatten die Aufgabe, möglichst gerade und ruhig bei äquibrierter Kopfhaltung (8) zu stehen. Das unbelastete Bein

wurde im Knie leicht flektiert. Die Arme lagen locker entspannt am Körper an. Die Augen blieben bei neutralem Blickfeld geöffnet und frei horizontal geradeaus gerichtet. Die Messungen erfolgten in einem ruhigen und gut ausgeleuchteten Raum. Das Blickfeld der Probanden war neutral, Ablenkungen wurden vermieden, kognitive Zusatzaufgaben nicht gestellt.

Das System erfasste die durch die Schwankungen hervorgerufenen reaktiven Kräfte sowie Momente zwischen Boden und Fuß in allen drei Raumrichtungen (6 Freiheitsgrade). Für die Beurteilung der Feinregulation des Standfußes verwendeten wir die Kraftmomente um die – bezogen zum Fuß – sagittal (Pro-/Supination) sowie transversal (Dorsalextension/Plantarflexion) verlaufende Achse.

Lineare und nichtlineare Rohdatenaufbereitung

Die zum System gehörende Software berechnete automatisch für jeden Messzeitpunkt das aus den Momenten M_X und M_Y resultierende Moment M_{XY} , das die Aktivität des Fußes in beiden Freiheitsgraden repräsentiert. Für die Auswertung wurden Änderungen des resultierenden Kraftmoments M_{XY} im Zeitverlauf dargestellt und verarbeitet. Eine stärkere Korrekturaktivität des Fußes führte so zu größeren Differenzen der Resultierenden M_{XY} zwischen den Messzeitpunkten und analog umgekehrt. Die Datenreihe der M_{XY} -Differenzen wurde einer Zeitreihenanalyse auf der Grundlage von linearen und nichtlinearen Variabilitätsmaßen unterzogen. Letztere beschreiben sowohl statistische Merkmale wie Mittelwert, Standardabweichung und spektrale Komponenten der Zeitreihen als auch nichtlineare Korrelationen, welche mittels symbolischer Dynamik aus den Daten bestimmt werden (12, 18, 19). Insgesamt wurden durch eine von Wessel (ebenda) entwickelte komplexe Rechenroutine so zunächst über 500 verschiedene Parameter berechnet. Durch schrittweise Diskriminanzanalyse erfolgte dann daraus die Auswahl der besten Parameter für die Trennbarkeit der Daten. Zur Analyse der Schwankungsmuster wurden aus den Zeitreihen Parameter des Zeitbereichs, des Frequenzbereichs und der nichtlinearen Dynamik berechnet. Dabei stellten sich die Kurzzeit- und Stationäre-Phase-Parameter als am besten geeignet heraus. Kurzzeit-Parameter sind Mittelwerte oder Standardabweichungen von Werten, die über kürzere Zeitabschnitte berechnet wurden.

Ziel der Diskriminanzanalyse war es, ausgehend von den vorliegenden Merkmalen der Balanceparameter, eine möglichst gute Gruppenzuordnung der untersuchten Probanden entsprechend ihrer Schulleistung vorzunehmen. Es wurden zwei verschiedene Diskriminanzanalysen angestellt, indem zwei differente Gruppeneinteilungen zu Grunde gelegt wurden: Zunächst erfolgte eine Betrachtung der Extremgruppen ($m=49$; $w=37$) der sehr guten Schüler mit einem Durchschnitt der Lese- Rechtschreib- und Rechennote von 1,0 ($n=41$; davon $m=18$ / $w=23$) vs. der Gruppe der schwachen Schüler, mit einem Notendurchschnitt von 4,0 bzw. schlechter ($n=45$; davon $m=31$, $w=14$).

In einer zweiten Betrachtung wurden dann alle Probanden in die Datenanalyse mit einbezogen, wobei Schüler mit

einer Bewertung von besser als 2,5 der Gruppe der „guten Schüler“ zugeordnet wurden und ab 2,5 und schlechter den „schwachen Schülern“. In der statistischen Diskriminierung wurde in den Gruppen zwischen männlich und weiblich unterschieden.

Tabelle 1: Trennbarkeitsergebnisse der Diskriminanzanalysen der Extremgruppen "sehr gute Schüler" vs. "schwache Schüler"

Parameter der Balance	Trennbarkeitsergebnis	Signifikanzwerte (p) der Diskriminierung
stationäre Epochen rechts (**)	m=77,6 % / w=83,8 %	m=0,0001 / w=0,0001
stationäre Epochen links (*)	m=64,0 % / w=57,9 %	m=0,0066 / w=0,0344
stationäre Epochen links und rechts (**)	m=89,9 % / w=83,8 %	m=0,0001 / w=0,0001

Statistik

Die Parameter der nichtlinearen Dynamik wurden durch Algorithmen für nichtlineare Zeitreihenanalysen bestimmt (12, 18, 19).

Die Durchführung der Diskriminanzanalysen erfolgte mit dem Programm SPSS 10,0,7 (SPSS Inc. Chicago, Illinois). Als Prüfverfahren nutzten wir Wilk's Lambda.

Die Signifikanz der Parameter der nichtlinearen Dynamik wurde über die statistischen Tests Mann-Whitney U und Wilcoxon überprüft. Dabei galten die folgenden Signifikanzgrenzen für alle genutzten Tests: $p \leq 0,05$ = signifikant (*) und $p \leq 0,01$ = hoch signifikant (**).

Ergebnisse

Ergebnisse der nichtlinearen Dynamik

Innerhalb der Zeitreihen ließen sich sogenannte stationäre Epochen erkennen, in denen die Amplituden der Differenzen der Resultierenden M_{XY} relativ gering ausgeprägt waren. Während der 45sekündigen Messung gab es also Zeitspannen, in denen die Probanden nur minimal schwankten (Abb. 1).

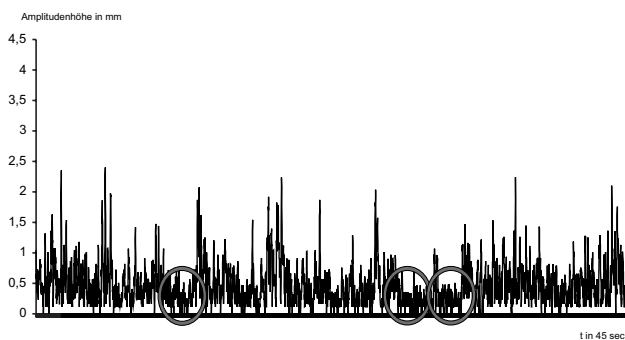


Abbildung 1: Zeitreihe mit gekennzeichneten stationären Epochen

Diese ließen sich statistisch vor allem in Entropiemaßen sichern. Es handelt sich hierbei um Maße der Unsicherheit bzw. Unordnung beim Vergleich zweier oder mehrerer Verteilungen. Entropiemaße quantifizieren die Verteilung der gemessenen Zeitreihen. Bei den Parametern der symbolischen Dynamik, welche die Zeitabschnitte zwischen größeren Amplitudenschwankungen charakterisieren, spiegeln sie die dynamische Variabilität wider. Entropiemaße bewerten die Komplexität der Verteilung der NN-Intervalle, d.h. der Abstände zwischen zwei resultierenden Drehmomentänderungen. Wenn eine Gleichverteilung aller Werte in der Zeitreihe (geringe Organisation) vorliegt, ist die Entropie maximal. Mit zunehmender Strukturierung (z.B. Schwankung um einen oder mehrere

„Arbeitspunkte“) verringert sich die Entropie, bei einer konstanten Folge (hohe Organisation) ist die Entropie 0.

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 50 bis 500 Mess-Punkten Länge als günstig für die Trennbarkeit der Daten. Optimal waren Phasen von 250 Werten Länge, was ca. 2,5s entspricht. Die Klassifizierungs- bzw. Trennbarkeitsergebnisse der Parameter, für die eine statistisch signifikante Unterscheidung der Gruppenmittelwerte voneinander nachgewiesen werden konnte, sind in den Tabellen 1 und 2 dargestellt.

Ergebnisse der Extremgruppenbetrachtung

Als wichtigstes Ergebnis ist festzuhalten, dass sich die Balancemessungen der beiden Extremgruppen sowohl bei den männlichen als auch den weiblichen Probanden voneinander signifikant unterschieden. Die Auswertung der Parameter der nichtlinearen Dynamik zeigte hoch signifikante Unterschiede zwischen den zu klassifizierenden Gruppen. Das bedeutet: Sehr gute Schüler wiesen häufiger und deutlicher als schwache Schüler stationäre Zeitintervalle von ca. 2,5 Sekunden Dauer auf. Diese Phasen sind durch minimale Drehmomentänderungen nach anterior-posterior und latero-lateral gekennzeichnet (Abb. 2 und 3).

Die Klassifizierungsergebnisse der multivariaten Diskriminanzfunktionen bei kombinierter Betrachtung aller Zeitreihen der stationären Epochen bei Betrachtung beider Standbeine zusammen ergaben dabei die höchste Trennbarkeit. Mit 89,8 % für die männlichen bzw. 83,8 % für die weiblichen Probanden scheinen die rechts-links-kombinierten, stationären Epochen am besten die Zuordnung der Schüler zu den Extremgruppen zu ermöglichen. Demgegenüber liegt zwar die Vorhersagbarkeit der Gruppenzugehörigkeit bei isolierter Betrachtung der Standbeine über 50 %, geht jedoch über 62 % nicht hinaus (bezogen auf die Parameter der stationären Phasen). Hierbei fällt allerdings auf, dass die Messungen des Standes auf dem rechten Bein bessere Klassifizierungsergebnisse hervorbringen als beim Einbeinstand links (Tab. 1, 2).

Ergebnisse des Vergleichs der Gesamtstichprobe

Bei Betrachtung der Gesamtstichprobe bestätigt sich diese Grundtendenz. (Tab. 1, 2). Jedoch bleibt die Trennschärfe der Diskriminanzanalysen, bezogen auf die gesamte Untersuchungsgruppe, unter der der Extremgruppenbetrachtung. Die beste Trennbarkeit wurde auch bei dieser Analyse durch die Betrachtung der stationären

Tabelle 2: Trennbarkeitsergebnisse der Diskriminanzanalysen für die Gesamtstichprobe

Parameter der Balance	Trennbarkeitsergebnis der Diskriminierung	Signifikanzwerte (p)
stationäre Epochen rechts (**)	m=55,4 % / w=51,4 %	m=0,0172 / w=0,0066
stationäre Epochen links	m=53,6 % / ---	m=0,0001 / ---
stationäre Epochen links und rechts (**)	m=61,9 % / w=61,0 %	m=0,0001 / w=0,0001

Epochen der Zeitreihen des Einbeinstandes in der Kombination beider Beine erreicht. Der Wert der Trennbarkeit liegt jedoch mit 59,6 % weit unter dem Ergebnis der Extremgruppenbetrachtung, was bedeutet, dass von 100 gruppierten Fällen guter oder schwacher Schüler anhand der Balancedaten immer noch 40 Fälle falsch klassifiziert wurden. Auch hier ergibt die Analyse der Balancemessung auf dem rechten Bein eine bessere Vorhersagbarkeit der Gruppenzuordnung als der Linksbeinstand. Für alle analysierten Parameter der Datenreihen rechts wurden signifikante Unterschiede zwischen guten und schwachen Schülern festgestellt (Tab. 1, 2).

Diskussion

Nach den vorliegenden Ergebnissen unterscheidet sich der Parameter „stationäre Phasen“ der Balancemessung bei Schülern, die von ihren Lehrern als „sehr gut“ in den Fähigkeiten Lesen, Schreiben und Rechnen eingeschätzt wurden, signifikant von dem der leistungsschwachen Schüler. Kinder mit gutem Schulerfolg weisen häufiger stationäre Phasen auf, in denen sie kaum schwanken. Diese „Ruhephasen“ fehlen bei schwachen Schülern weitgehend.

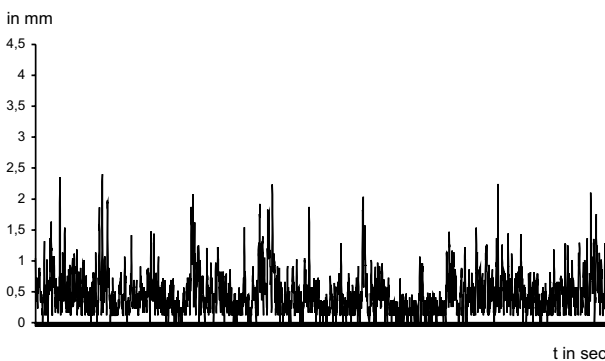


Abbildung 2: Zeitreihe der resultierenden Wege der Drehmomentänderungen über die gesamte Zeit der Balancemessung (45s) auf dem rechten Fuß eines sehr guten Schülers

Um zu überprüfen, ob die erzielten 89,8 % (für die Jungen) bzw. 83,8 % (für die Mädchen) Diskriminierungsrate nicht möglicherweise ein Multiplizitätsartefakt sind, wurde den Schülern 100 mal zufällig eine Note zugewiesen und die schrittweise Diskriminanzanalyse durchgeführt. 97 der 100 Analysen lieferten Diskriminierungsraten unter 89 % bzw. 83 %, das mittlere Diskriminierungsergebnis lag bei $66,7 \pm 1,2$ %, woraus geschlossen werden darf, dass die erreichten Werte kein Artefakt aufgrund multiplen Testens sind und somit ein signifikanter Zusammenhang zwischen Balance und Kognition besteht.

Die Unterschiede in der Balanceregulation interpretieren wir als Ausdruck eines besser funktionierenden, sensomotorischen Systems.

Es ist anzunehmen, dass die von der posturalen Sensorik gemeldeten Deviationen des Körpers spinal – und vor allem supraspinal – schneller und exakter verrechnet und mit präziseren motorischen Aktionen beantwortet werden. Schnelligkeit und Exaktheit

der Balancekorrekturen können als wesentliche qualitative Merkmale der neuronalen Funktion gewertet werden. Strukturelle Voraussetzung hierfür sind eine gute Myelinisierung und ein hoher Grad der neuronalen Vernetzung. Hieraus ergibt sich für das schlechtere Abschneiden der schwachen Schüler ein möglicher Erklärungsansatz, nämlich Defizite der neuronalen Reifung, die sowohl Schwächen der Sensorik als auch der kognitiven Leistung bedingen könnten. Weitere mögliche Erklärungsansätze lassen sich auch aus soziologischer (etwa mögliches Schlafdefizit oder Drogeneinfluss bei sozial benachteiligten Kindern) wie psychologischer Sicht (Frustration und resultierende unzureichende Aufgabenakzeptanz bei schwachen Schülern) herleiten.

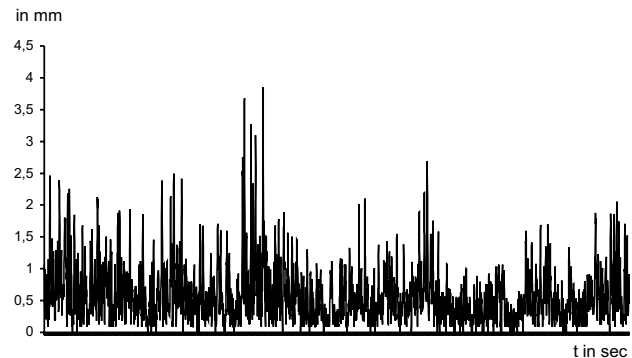


Abbildung 3: Zeitreihe der resultierenden Wege der Drehmomentänderungen über die gesamte Zeit der Balancemessung (45s) auf dem rechten Fuß eines lernauffälligen Schülers

Wir halten jedoch gegenwärtig hirnganische Reifungsdefizite für den wahrscheinlicheren Ansatz. Hierfür sprechen Parallelen mit ähnlich angelegten Studien. Insbesondere im Bereich der Sonderpädagogik finden sich hier Hinweise. So kommen Zeffiro und Eden (20) zu dem Ergebnis, dass Legasthenie mit Auffälligkeiten der Balance und Bewegungsaktivität zusammenhängen kann. Nach McPhillips et. al. (13) besteht eine Wechselwirkung zwischen einer gehemmten Entwicklung der Halte- und Körperstellreflexe und dem Auftreten von Legasthenie. Studien an israelischen Sonderschülern weisen einen Zusammenhang der Fähigkeit körperlicher Balance mit der Lesefähigkeit nach (10, 11). Probleme mit der Lesefähigkeit werden mit cerebralen Verarbeitungsstörungen begründet, wobei die interhemisphärische Integration eine wichtige Rolle zu spielen scheint (17). Hynd et al. und Rumsey et al. weisen auf Veränderungen des Corpus callosum bei Kindern mit Dyslexie hin (8, 15). Rankin et al. (15) zeigen, dass eine gleichzeitige kognitive Beanspruchung die Balanceleistung beeinträchtigt. Sie schließen daraus, dass die neuronale „Bearbeitungskapazität“ limitiert sei. Im Umkehrschluss ist zu vermuten, dass sich defizitäre hirnganische Ressourcen in motorischen wie kognitiven Funktionen niederschlagen müssen. Die Studien von Baker et al. (2) und

Stein et al. (15) zum Einfluss von Okulomotorik auf die Hirnfunktion belegen ein weiteres Mal derartige Interaktionen.

Eine weitere Parallele zu Störungen der Lesekompetenz ist die gefundene funktionelle Seitenasymmetrie. Bis auf einen weisen alle Parameter bei rechtsbeinigem Stand deutlichere Unterschiede zwischen den Leistungsgruppen auf. Die hierbei dominierende linkshemisphärische Funktion – möglicherweise aber auch deren Integration mit kontralateralen Funktionen – könnte bei den schwachen Schülern ein limitierender Faktor sein. Die gefundenen Unterschiede in der Lateralität der Balance stützen damit die Sichtweise einer hirnorganischen Verursachung gegenüber zweifellos auch denkbaren soziologischen und psychologischen Kausalitäten.

Während die Mehrzahl der Studien, in denen Zusammenhänge zwischen Kognition und Motorik betrachtet werden, sich auf lernbehinderte Kinder bezieht (3, 10, 11), belegen die Ergebnisse der Gesamtprobandenbetrachtung unserer Untersuchung, dass sich auch bei Kindern ohne sonderpädagogischem Förderbedarf Hinweise für einen solchen Zusammenhang zeigen lassen.

Die Ergebnisse belegen erwartungsgemäß, dass die Trennbarkeit der Extremgruppen höher ist als der oberen vs. unteren Hälfte der Gesamtstichprobe. Dies weist darauf hin, dass die Übergänge fließend sein könnten. Dennoch ist denkbar, dass der Unterschied durch besondere Eigenschaften einer Extremgruppe (besondere Balancedefizite bei schlechten Schülern oder besonders gute Balance bei den besten Schülern) zu Stande kommen könnte.

Ausblick

Auf der Basis der vorliegenden Erkenntnisse ist zu überprüfen, ob künftig eine verfeinerte Methodik in der Lage sein könnte, eine Frühdiagnostik von Lernproblemen – evtl. auch eine Früherkennung besonders leistungsfähiger Schüler – zu ermöglichen. Allerdings ist die bisher erreichte Trennbarkeit von ca. 89 % bzw. ca. 83 % zwischen den Extremgruppen für eine Individualdiagnostik noch unzureichend. Zudem wäre zu prüfen, inwiefern das hier entwickelte Verfahren auch bei anderen Altersgruppen – etwa Einschüler – anwendbar ist. Der Charakteristik komplexer Systeme entsprechend wirken sich natürlich neben der Qualität neuronaler Funktion noch weitere physiologische Faktoren auf die Balancefähigkeit aus. Die nächsten Arbeiten gelten daher der Verbesserung der Verfahrensgüte. Hierfür sollen mögliche Kofaktoren eliminiert und ggf. multivariate Verfahren geprüft werden. Aufgrund unserer Datenbasis zeichnet sich hier z.B. ein wesentlicher Einfluss von Statikstörungen der gewichtstragenden Strukturen ab. Eine Elimination dieses Faktors erhöht die Trennbarkeit deutlich. Hierüber wird gesondert berichtet werden. Letztlich ist auch zu prüfen, inwiefern ein prononciertes Training der Balance kognitive Lerneffekte unterstützen kann. Dieser Aspekt ist gegenwärtig Gegenstand eines Interventionsprojektes, das wir seit November 2002 in

Kooperation mit der AOK des Landes Brandenburg, dem zuständigen Ministerium sowie Kita-Trägern in vier Potsdamer Kindergärten durchführen.

Literatur

1. Baumert J, Klieme E, Neubrand M, Prenzel M, Schiefele U, Schneider W, Stanat P, Tillmann KJ, Weiß M (Hrsg.): Pisa 2000 – Zusammenfassung zentraler Befunde, Max-Planck-Institut für Bildungsforschung Berlin 2001.
2. Baker JT, Donoghue JP, Sanes JN: Gaze direction modulates finger movement activation patterns in human cerebral cortex. *J Neurosci* 19 (22) (1999) 44-52.
3. Cinelli B, De Paepe JL: Dynamic Balance of learning disabled and nondisabled children, in: *Percept Mot Skills* 58 (1984) 243-235.
4. Dennison PE: Befreite Bahnen. VAK-Verlags GmbH, Freiburg, 1994.
5. Dennison PE, Dennison G: Edu-Kinesiology für Kinder. VAK-Verlags GmbH, Freiburg, 1989.
6. Dennison PE, Dennison G: Lehrerhandbuch Brain-Gym. VAK-Verlags GmbH, Freiburg, 1991.
7. Holm VA: A western version of the Doman-Delacato treatment of patterning for developmental disabilities. *West J Med* 139 (1983) 553-556.
8. Hynd GW, Hall J, Novey ES, Eliopoulos D, Black RC, Cohen M: "Dyslexia and Corpus Callosum Morphology". *Arch Neurol* 52 (1995) 32-38.
9. Kapandji IA: Funktionelle Anatomie der Gelenke. Bd. 2. Hippokrates, Stuttgart, 1999.
10. Kohen-Raz R: Learning Disabilities and Postural Control. Freund Publishing House Ltd., London, 1986.
11. Kohen-Raz R: Application of Tetra-Ataxiometric Posturography in clinical and developmental Diagnosis. *Percept Mot Skills* 73 (1991) 635-656.
12. Kurths J, Voss A, Witt A, Saporin P, Kleiner HJ, Wessel N: Quantitative analysis of heart rate variability. *Chaos* 5 (1995) 88-94.
13. 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) 537-541.
14. Rankin JK, Woolacott MH, Shumway-Cook A, Brown LA: Cognitive influence on postural stability: a neuromuscular analysis in young and older adult. *Journal Gerontology A Biology Science Medicine Science* 55 (2000) 112-119.
15. Rumsey JM, Berman KF, Denckla MB, Hamburger SD, Kruesi MJ, Weinberger DR: Magnetic Resonance Imaging of Brain Anatomy in Severe Developmental Dyslexia. *Arch Neurol* 10 (1986) 1144-1150.
16. Stein GM, Gibbons RD, Meldman MJ: Lateral eye movement and handedness as measures of functional brain asymmetry in learning disability. *Cortex* 16 (1980) 223-229.
17. Suchodoletz W: Zur Pathogenese der Lese-Rechtschreibschwäche. *Pädiat Grenzgeb* 27 (1988) 373-379.
18. 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) 419-433.
19. Wessel N, Voss A, Malberg H, Ziehm Ch, Voss HU, Schirdewan A, Meyerfeldt U, Kurths J: Nonlinear analysis of complex phenomena in cardiological data. *Herzschr Elektrophys* 11 (2000) 159-173.
20. Zeffiro T, Eden GF: The cerebellum and dyslexia: perpetrator or innocent bystander. *Trends Neurosci* 24 (2001) 512-513.

Korrespondenzadresse:
Prof. Dr. Frank Bittmann
Institut für Sportmedizin und Prävention
Universität Potsdam
Am Neuen Palais 10
14469 Potsdam
E-mail: bittmann@uni-potsdam.de