



1. Bewegung beeinflusst das Lernen positiv

Der positive Einfluss von Bewegung auf geistige Fähigkeiten ist keine neue Erkenntnis der heutigen Zeit. „Willst du die geistige Kraft deines Zöglings pflegen, so pflege die Kräfte, welche durch sie regiert werden sollen. Übe unablässig den Leib, mache ihn kräftig und gesund, um ihn weise und vernünftig zu machen. Er soll arbeiten, tätig sein, laufen, schreien und sich immer bewegen“ (Rousseau, 1778). Dieser Einfluss von Bewegung auf das Lernen wird von aufmerksamen Pädagogen auch heutzutage klar erkannt. Das Konzept der bewegten Schule von Illi [11] fördert beispielsweise gezielt die Aufmerksamkeit von Schulkindern, was spätestens ab einer dritten Schulungsstunde deutlich wird [5, 16]. Eine Studie an fünf- bis neunjährigen Kindern kam zu dem Ergebnis, dass Kinder, die über eine sehr gute Gesamtkörperkoordination verfügen, auch die beste Konzentrationsfähigkeit besitzen [7]. Darüber hinaus wird dieses Wissen um den Zusammenhang zwischen Bewegung und kognitiven Fähigkeiten schon seit langem in verschiedenen Therapien – beispielsweise in der Ergotherapie – bewusst angewendet. So zeigen Übungen zur Verbesserung des Gleichgewichtssinns und der Körperselbstwahrnehmung bemerkenswerte Erfolge bei der Behandlung von Lernstörungen. Die Kinesiologie (Lehre der Bewegung) verfolgt in ihrem Ansatz als ein Ziel die Aktivierung der geistigen Fähigkeiten und wird unter anderem bei Lernschwierigkeiten, Konzentrationsstörungen, ADHS und emotionalen Störungen therapeutisch eingesetzt. Auf der Grundlage dieser Lehre sind Bewegungsprogramme entwickelt worden, die der Integration und Förderung von Gehirn- und Körperkoordination dienen sollen (siehe z.B. [4]).

Einleuchtend für Jedermann ist, dass durch Bewegung die Durchblutung und damit die Sauerstoff- und Nährstoffversorgung des Gehirns verbessert wird [10]. Das gilt allerdings nicht für eine körperliche Überbelastung, etwa durch extremes Jogging, was eher zur Drosselung des Blut-Hirn-Flusses führt. Eine bessere Sauerstoff- und Nährstoff-

versorgung des Gehirns stellt aber nur einen eher vordergründigen Aspekt dar, wie Bewegung auf das Gehirn wirkt. Denn in Folge werden davon hirnpfysiologische Mechanismen angesprochen, die aktivitätsfördernde Wirkung auf neuronaler Ebene entfalten. Und was verbirgt sich hinter neuronalen Mechanismen, die geistige Potenzen steigern und selektiv Lernen fördern?

2. Die Kopplung von Bewegung und Lernen erklärt sich aus der Entwicklung des Gehirns

Den Schlüssel zum Verständnis liefern neuere Erkenntnisse zur Reifung von Neuronen, Nervennetzen, Transmittern und Hormonen, die ihre Wirkung insbesondere während der prä- und perinatalen Phase, aber in unabgeschwächter Weise darüber hinaus auch ein Leben lang, entfalten. Insbesondere im Kindesalter spielt die Reifung von Transmitterbahnen in sensorischen und motorischen Systemen für die weitere Entwicklung gerade auch von kognitiven Fähigkeiten eine entscheidende Rolle. Die Körperselbstwahrnehmung, und d.h. das Erfahren des eigenen Körpers in Raum und in Zeit, ist das entscheidende Erlebnis, das zunächst während der Krabbel-, Lauf- und Kletterphasen und dann durch das Balancieren, Schaukeln und Schwingen natürlicherweise gemacht und damit gelernt wird. Unterbleiben diese essentiellen frühkindlichen Bewegungserfahrungen, so können späterhin schwere Lernstörungen resultieren. Diese im letzten Jahrhundert u.a. von Piaget formulierten Grunderkenntnisse erfahren durch die modernen Neurowissenschaften eine Renaissance.

Im Lern-Hierarchie-Modell [12], das wir hier auf die vorgeburtliche Zeit ausdehnen, werden die einzelnen, aufeinander aufbauenden Entwicklungsebenen beschrieben. Bereits im Neugeborenen werden entscheidende Grundvoraussetzungen für die späteren Verhaltens- und Strukturentwicklungen gelegt: Prä- und perinatal wird die Ebene der endogenen Rhythmen und der Schlaf-Wach-Rhythmus im Zusammenhang mit der basalen Sensomotorik organisiert. Bis zum Zeitpunkt der Geburt ist die grob-motorische Ebene zur Reflexbildung gereift. Vorgeburtlich gereifte Reflexe, wie der Moro-Reflex, der tonische Labyrinthreflex, der Klammerreflex und weitere, werden von nachgeburtlich reifenden Folgereflexen, wie der Schreckreaktion, den Halte- und Stellreflexen abgelöst [6]. Während Erstere im Stammhirn verankert sind, nehmen Letztere zusätzlich den Kortex mit in Anspruch. Geschieht diese Ablösung der Primärreflexe nicht, so entstehen Folgestörungen auf höherer, also kortikaler Ebene. So hat beispielsweise die Nicht-Ablösung des Moro-Reflexes eine anhaltende hohe

Schreckhaftigkeit gepaart mit innerer Unruhe zur Folge, was sich zu erheblichen psychischen Problemen auswachsen kann. Etwa eine erhöhte Ängstlichkeit, emotionale Labilität sowie ein geringes Selbstwertgefühl können die Folge sein. Im Rückblick auf die Entwicklungsspirale gilt, dass die Reifung über die motorisch-perzeptuelle, perzeptuell-motorische bis hin zu der begrifflichen Ebene im Erwachsenenalter fortschreitet und neue Entwicklungsschritte immer aus bereits erworbenen Entwicklungsstufen hervorgehen. Neurophysiologisch und neurochemisch erklärt sich das aus dem kaudorostralen Reifungsgradienten, der vom Rückenmark über den Hirnstamm zum Thalamus und limbischen System fortschreitet und zuletzt den Kortex erfasst.

5. Motorisches Lernen erfolgt in kleinen und großen Schaltkreisen

Für das Erlernen von motorischen Handlungen ist die Rückkopplung zwischen sensorischen Systemen und den motorischen Hornarealen, zu denen das Kleinhirn, die Basalganglien und die motorischen Hirnrindfelder zählen, zugrunde zu legen. Das Kleinhirn erhält permanent Informationen aus der Körperperipherie, beispielsweise über den Muskeltonus, die Stellung der Gelenke und aus den Gleichgewichtssystemen, und es gibt diese Informationen an die Basalganglien und die motorische Hirnrinde weiter. Von der motorischen Hirnrinde steigt die lange Pyramidenbahn mit vielen Verzweigungen und Rückkopplungen ab, bis sie die Impulse über den Eigenapparat des Rückenmarks auf einzelne Muskeln überträgt. Gleichzeitig gibt die motorische Rinde auch Rückmeldung an das Kleinhirn und die Basalganglien, die wiederum korrigierend auf das Bewegungsmuster einwirken. Durch ständiges Trainieren übt das Kleinhirn seinen Einfluss über die Verrechnung von Aktualereignissen aus, die der Körper einspielt, während die Basalganglien mit ihren vielschichtigen Rückkopplungsschleifen glättend in die motorische Musterbildung eingreifen. Immer wieder werden durch strukturelle Reorganisation die motorischen Bahnsysteme und Nervennetze adaptiv gebahnt, bis die optimale Bewegungsabfolge im Rahmen eines koordinierten Zusammenspiels von vielen verschiedenen Muskelpartien erreicht ist.

Die Motorik gewinnt über solche Bahnungen in Rückkopplungsschleifen einen Einfluss auf höhere kognitive Leistungen. Am Beispiel des Schreiben- und Sprechlernens sei das erläutert: In einer Schritzebene der primären Sinnesfelder, des auditiven, sensorischen und visuellen Kortex, liegt das sensorische Sprach- und Schriftzentrum, das Wernicke-Areal. In diesem höchsten assoziativen, sensorischen Kortexbereich realisiert sich

das Verstehen von Sprache und Schrift. Einem strukturbezogenen Reifungsgradienten folgend reift das im Hinterhauptlappen gelegene Wernicke-Areal zeitlich deutlich vor dem motorischen Sprach- und Schriftzentrum, dem Broca-Areal. Das heißt, das Kind nimmt gesprochene Worte viel eher auf, als es selbst zu sprechen vermag. Erst in der Rückkopplung vom Broca- zum Wernicke-Areal beginnt es zunächst Sprache und später Schrift in ihrer Begrifflichkeit zu verstehen. Sprache muss durch Reden und Schrift durch Schreiben aktiv gefördert werden. Denn durch die gezielten motorischen Aktivitäten werden auch gezielt die Rückkopplungsschleifen zwischen dem Wernicke- und dem Broca-Areal bedient, stabilisiert und weiter ausgebaut und damit der Weg für darauf aufbauende feinmotorische und kognitive analytische Fähigkeiten gebahnt. Hier wird deutlich, warum in dem für diese Reifungsgeschichte kritischen Alter des Schulkindes der Prozess des aktiven Schreibens essenziell notwendig ist. Das Tippen auf der Computertastatur kann diese frühe motorische Lernerfahrung nicht ersetzen, sondern verursacht unausweichlich eine irreparable Vernachlässigung kognitiver Grunderfahrungen mit schwerwiegenden Auswirkungen auf die Ausreifung von seriellen Schaltkreisen. Gleichzeitig gilt es, die Reifung paralleler Schaltkreise durch Basteln, Malen, Ballspiele, etc. zu fördern.

Fazit: Die Motorik stellt für Lernprozesse einen entscheidenden Baustein dar, der nicht etwa von anderen funktionellen Systemen isoliert reift, sondern gewissermaßen das tragende Fundament für aufbauende Funktionen bildet und zeitlebens bleibt. Das gilt über die Reifung von Hirnstrukturen im Kindes- und Jugendalter hinaus für jeden Vorgang eines Lernereignisses. Lernen realisiert sich über eine rückgekoppelte Einbindung in limbische Schaltkreise (Abb. 4): Zum einen werden sensorimotorische Einzelprogramme durch die Einbettung in die limbische Schleife vor dem Hintergrund eines emotional-motivationalen Kontextes sinnvoll zu einem Handlungsplan zusammengeführt. Zum anderen wirken Aktivitäten der motorischen Areale des Hirnstamms, des Kleinhirns und des Kortex permanent auf limbische, insbesondere auf hippocampale Areale zurück. Damit schließt sich der Kreis, indem die Motorik über das limbische System kognitive Prozesse nachhaltig beeinflusst. Gezielt auf die entwicklungsbedingten Bedürfnisse der Kinder eingesetzt, fördert so Bewegung die notwendigen Reorganisationsprozesse im reifenden Gehirn, die einen langfristigen kognitiven Lernerfolg tragen. Für die Schule bedeutet das abschließend, dass die Neurobiologie verbindliche Kriterien für eine optimale Lern- und Entwicklungsumgebung für Kinder geben kann, die mit den Pädagogen zusammen umgesetzt werden müssen.

Was lernen wir aus der Hirnforschung für den Alltag

In diesem Workshop wurden aus den im Vortrag vorgestellten Prinzipien von Hirnfunktionen zur **aktivitätsgesteuerten Anpassung** von Nervennetzen und Funktionssystemen während der Reifung des kindlichen Gehirns Konsequenzen für die Erziehung im Kindesalter abgeleitet. Zu diesem Zweck wurden Faustregeln aufgestellt, die sich jedermann und jede Frau im Umgang mit Kindern zu eigen machen sollte, denn durch diese wird eine Lernbegabung im frühkindlichen Alter angeregt und gefördert. Vor dem Hintergrund von aktuellen Erkenntnissen aus der Hirnforschung gewinnen diese Regeln eine allgemeine Verbindlichkeit.

- (1) Es gilt, das werdende Leben und das Kleinkind vor Stressoren jeglicher Art zu beschützen, denn vorgeburtlich reifen über den Hirnstamm endogene Rhythmen und Primärreflexe heran, die gemeinsam den Boden für aufbauende Funktionen wie Schlaf-Wachaktivitäten und die Ablösung der Reflexe durch komplexere Bewegungsmuster bereiten.
- (2) Es gilt, die Sozialisation im Eltern-Kind-Interaktionsfeld einzuüben, denn frühkindlich reifen über die aus dem Hirnstamm in das Stirnhirn aufsteigenden aminergen Transmitterbahnen (speziell die Dopaminbahn) erste Aspekte für eine motivationale und soziale Grunddisposition.
- (3) Es gilt, den kindlichen Bewegungsdrang zuzulassen und zu fördern, jedoch unter keinen Umständen einzuschränken und durch Fernseher und Computer zu unterdrücken. Denn frühkindliche Muster der Bewegungskoordination gewinnen Anschluss an die Raumverrechnung durch das Reifen von ganz selektiven kortikalen Schaltkreisen.
- (4) Es gilt, Emotionalität und allgemeine Neugierde zu fördern, denn frühkindlich stehen limbische Schaltkreise unter einer hohen dynamischen Reifung und Bildung von zeitlebens tragenden Schaltkreisen, welche die Grunddisposition für die spätere allgemeine Stimmungslage festlegen.
- (5) Es gilt, seine Phantasie individuell zu fördern, denn frühkindlich werden Bahnungen von solchen kortikalen Schaltkreisen eingeleitet, aus denen komplexere hervorgehen, die das Denken und die Gedächtnisbildung veranlassen.
- (6) Es gilt, das Kind vor Reizüberflutungen sowie Überforderungen zu bewahren, denn die verschiedenen Aspekte von Bewegung, Emotion und Kognition reifen in zeitlich und räumlich zugeordneten Sequenzen. Das Kind signalisiert dies jeweils im Rahmen von selektiver Aufmerksamkeit.
- (7) Es gilt Konfliktbewältigung, Toleranz und ethische Grundprinzipien einzuüben, denn auch diese Fähigkeiten sind nicht angeboren, sondern müssen erlernt werden. Vor dem Hintergrund einer fortschreitenden Ausreifung von Nervenzellen und Funktionsmodulen im Kortex nehmen jegliche Umweltreize Einfluss auf deren Gestaltung und Kopplung an die Funktionen während der Ausbildung einer individuellen Persönlichkeit.

► Literatur

- [11] Illi (1995): *Bewegte Schule. Die Bedeutung und Funktion der Bewegung als Beitrag zu einer ganzheitlichen Gesundheitsbildung im Lebensraum Schule. Sportunterricht, Schondorf 44: 404-415.*
- [5] Dordel S. / Breithecker D. (2003): *Bewegte Schule als Chance einer Förderung der Lern- und Leistungsfähigkeit. Haltung und Bewegung 23:5-15.*
- [16] Wamse P. / Leyk D., (2003): *Einfluss von Sport und Bewegung auf Konzentration und Aufmerksamkeit: Effekte eines „Bewegten Unterrichts“ im Schultag. Sportunterricht, Schondorf 52:108-113.*
- [7] Graf C. / Koch B. / Dordel S. (2003): *Körperliche Aktivität und Konzentration – gibt es Zusammenhänge? Sportunterricht, Schondorf 52:142-146*
- [4] Dennison PE. / Dennison GE. (2002): *Brain-Gym. VAK Verlags GmbH.*
- [10] Hollmann W. / Strüder HK (1998): *Zur Biochemie des Gehirns bei muskulärer*

- Arbeit. Nervenheilkunde 17:30-35.*
- [12] Piaget J. (1973): *Die Entwicklung des Erkennens. Bd. 3; Erkenntnistheorie der Wissenschaft vom Menschen; Ullstein, Frankfurt.*
- [6] Goddard S. (2002): *Greifen BeGreifen. Wie Lernen und Verhalten mit frühkindlichen Reflexen zusammenhängen. 4. Auflage; VAK Verlags GmbH, Kirchzarten bei Freiburg.*

Anschrift der Verfasser:

Andrea Busche, Markus Butz und Prof. Dr. Gertraud Teuchert-Noodt, Abteilung für Neuroanatomie, Fakultät für Biologie, Universität Bielefeld, Universitätsstraße 25, D-33615 Bielefeld
g.teuchert@uni-bielefeld.de
markus.butz@uni-bielefeld.de