

Diana HENZ, Mainz; Wolfgang I. SCHÖLLHORN, Mainz; Reinhard OLDENBURG, Augsburg

Förderung visuell-räumlicher Lösungsstrategien bei Algebra und Geometrie durch Bewegung: wie viel Bewegung ist optimal?

Wissenschaftliche Studien aus dem Bereich der Kognitions- und Neurowissenschaft zeigen Zusammenhänge von körperlichen Bewegungen und kognitiven Verarbeitungsprozessen auf. In Anlehnung an diese Erkenntnisse erfährt das Konzept der bewegten Schule seit einigen Jahren größere Aufmerksamkeit, wobei körperliche Bewegungen im Unterricht und während der Schulpausen gezielt zur Förderung der schulischen Leistungen eingesetzt werden (z. B. Högger, 2013). Für den mathematischen Bereich finden sich Hinweise auf positive Effekte von körperlicher Bewegung auf mathematische Fertigkeiten (Correa-Burrows, Burrows, Orellana & Ivanovic, 2014).

Basierend auf der These des Algebraischen Symbolraums von Lakoff und Núñez (2000), die besagt, dass abstrakte Ideen durch konzeptuelle Metaphern aus körperlichen Erfahrungen gebildet werden, hat sich eine Forschungsrichtung entwickelt, die körperliche Bewegungen, insbesondere Gesten, bei algebraischen Transformationsprozessen analysiert. In einer Studie von Wittmann, Flood und Black (2012) finden sich Hinweise, dass die mentale Bewegung der Symbole beim Arbeiten im algebraischen Kalkül analog zur Bewegung physikalischer Objekte erfolgt. Der Einsatz von Gesten im Unterricht zur Vermittlung mathematischer Lerninhalte im Bereich Algebra hat sich als förderlich erwiesen (Alibali et al., 2013).

Erklärungen für eine visuell-räumliche Verarbeitung von Algebra und Geometrie lassen sich aus dem Bereich der Kognitionswissenschaft ableiten. Das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (1986) etwa postuliert verschiedene Subsysteme, die modalitätsspezifisch Informationen verarbeiten. Empirische Studien zeigen auf, dass visuell-räumliche Informationen und Bewegungsinformationen im gleichen Subsystem verarbeitet werden (Logie & Della Sala, 2005). Direkte empirische Evidenz für eine visuell-motorische Repräsentation von Algebra findet sich im Bereich der Neurowissenschaft (Fields, 2013; Leikin, Waisman, Shaul & Leikin, 2014). Zusammenfassend kann aus diesen Arbeiten abgeleitet werden, dass körperliche Bewegungen und visuell-räumliche Verarbeitung bei mathematischen Lösungsprozessen gleiche kognitive Prozesse erfordern.

In der vorliegenden Studie wurde in zwei Experimenten getestet, welche

Institut für Mathematik und Informatik Heidelberg (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2016* (S. x–y). Münster: WTM-Verlag

Effekte fein- und großmotorische Bewegungen auf die mathematische Lösungskompetenz und die Wahl visuell-räumlicher Verarbeitungsstrategien bei Algebra und Geometrie haben. Die Probanden führten zwei Bewegungsinterventionen (bewegtes Sitzen, Fahrradfahren) während der Bearbeitung von Algebra, Arithmetik und Geometrie unter EEG-Kontrolle aus. Die vorliegende Studie schließt inhaltlich und methodisch an Studien von Henz et al. (Henz, Oldenburg, & Schöllhorn, 2014, 2015a, 2015b) an, in denen die Wirkung von bewegtem Sitzen auf die mathematische Leistung in den Bereichen Algebra, Arithmetik und Geometrie und die korrespondierende Gehirnaktivität mittels Elektroenzephalogramm (EEG) untersucht wurde.

Studiendesign

In Experiment 1 wurden $n = 78$ gesunde Probanden im Alter von 22 bis 24 Jahren getestet. Die Probanden führten die Mathematikaufgaben während dynamischem Sitzen auf Stühlen mit beweglicher Sitzoberfläche (Firma MiShu) und statischem Sitzen auf Stühlen mit unbeweglicher Sitzoberfläche durch. In Experiment 2 wurden $n = 46$ gesunde Probanden im Alter von 21 bis 24 Jahren getestet. Die Probanden führten die Mathematikaufgaben in einem Gruppendesign nach Fahrradfahren und einer Kontrollbedingung aus. Zur Erfassung der mathematischen Leistung wurde ein Arithmetiktest (Num) eingesetzt, der ad hoc, aber theoriebasiert entwickelt wurde, sowie ein Algebratest (Alg) zur Lösung linearer Gleichungen, die auf Niveau 1 und 2 rein arithmetisch durch Rückwärtsrechnen gelöst werden konnten, während auf Niveau 3 die Unbekannte beidseitig auftritt, so dass sie mental von einer Seite der Gleichung zur anderen bewegt werden muss. Das Raumvorstellungsvermögen (Geo) wurde mit dem Bausteintest (Birkel, Schein & Schumann, 2002) erfasst. Die Testaufgaben wurden im Multiple-Choice-Format für die Kombinationen von Aufgabentyp und Niveau geblockt am PC bearbeitet, wobei die Blöcke randomisiert dargeboten wurden. Die elektrische Gehirnaktivität wurde mittels EEG von 19 Elektroden nach dem internationalen 10-20 System vor, während und nach der Aufgabenbearbeitung aufgezeichnet. Für die EEG-Daten wurden die Leistungsdichtespektren für das Theta- (4-7.5 Hz), Alpha- (8-13 Hz), Beta- (13-30 Hz) und Gamma-Band (30-40 Hz) ermittelt. Die Anzahl der erzielten korrekten Antworten in den mathematischen Tests sowie die Leistungsdichtespektren der EEG-Frequenzbänder wurden Varianzanalysen mit Bonferroni-korrigierten post-hoc Tests unterzogen.

Ergebnisse

In Experiment 1 belegen die Verhaltensdaten bessere mathematische Leis-

tungen unter bewegtem Sitzen, $F(1, 77) = 5.29$, $p < .05$, insbesondere bei Algebra, $p < .05$, und Geometrie, $p < .05$. In Experiment 2 zeigen sich bessere Leistungen in der Kontrollbedingung, $F(1, 45) = 5.42$, $p < .05$, insbesondere bei Algebra, $p < .05$, und Geometrie, $p < .05$. Anhand der EEG-Spontanaktivität lassen sich Effekte von fein- und großmotorischen Bewegungen in Abhängigkeit von der Art der Mathematikaufgabe und des Schwierigkeitsgrades auf die Zusammensetzung der Frequenzbänder beobachten. In Experiment 1 tritt bei Alg3 und Geo3 eine erhöhte Theta- und Alpha-Aktivität in den visuellen, somatosensorischen und motorischen Arealen, jeweils $p < .05$, bei Num3 eine erhöhte Aktivität im Beta-, $p < .05$, und Gamma-Band, $p < .01$, bei dynamischem Sitzen auf. In Experiment 2 tritt bei Alg2, Alg3 und Geo3 eine starke Theta- und Alpha-Aktivität in den visuellen, somatosensorischen und motorischen Arealen, jeweils $p < .01$, bei Num3 eine erhöhte Aktivität im Beta-, $p < .05$, und Gamma-Band, $p < .05$, nach Fahrradfahren auf.

Diskussion

Die Ergebnisse belegen, dass Mikrobewegungen wie etwa Bewegungen während des Sitzens für die Lösungskompetenz bei Algebra und Geometrie förderlich sind, jedoch nicht Bewegungen, die die visuell-räumliche Verarbeitungskapazität stark auslasten wie anhand des Fahrradfahrens in der vorliegenden Studie gezeigt werden konnte. Die Ergebnisse zeigen, dass körperliche Bewegungen visuell-räumliche Verarbeitungsstrategien bei Algebra und Geometrie fördern. Die Bearbeitung von Algebra und Geometrie führt dabei eine Aktivierung von Gehirnarealen herbei, die mit visuell-räumlicher Verarbeitung assoziiert sind, wobei eine leichte Stimulation des motorischen Systems durch bewegtes Sitzen eine visuell-räumliche Verarbeitung fördert, eine starke Beanspruchung des visuell-motorischen Systems durch starke Anforderungen an koordinative Fertigkeiten jedoch leistungsmindernd im Bereich visuell-räumlicher Verarbeitung bei Algebra und Geometrie, jedoch nicht bei Arithmetik, wirkt. Die leistungsförderliche Wirkung von feinmotorischen Bewegungen und die leistungsmindernde Wirkung von großmotorischen Bewegungen auf visuell-räumliche Verarbeitung kann dadurch erklärt werden, dass die Verarbeitung von visuell-räumlicher Information und körperlichen Bewegungen im gleichen Subsystem des Arbeitsgedächtnisses stattfindet (siehe Baddeley, 1986). Durch feinmotorische Bewegungen werden visuell-räumliche Verarbeitungsprozesse angeregt, großmotorische Bewegungen jedoch bewirken eine starke Auslastung des visuell-motorischen Systems, so dass für die Verarbeitung von visuell-räumlicher Information beim Bearbeiten von Algebra und Geometrie die kognitiven Ressourcen eingeschränkt sind. Die Ergebnisse re-

gen an, im Algebra- und Geometrieunterricht Lernumgebungen einzusetzen, die Bewegungen und somit visuell-räumliche Verarbeitung fördern.

Literatur

- Alibali, M.W., Young, A.G., Crook, N.M., Yeo, A., Wolfgram, M.S., Ledesma, I.M., Nathan, M.J., Church, R.B. & Knuth, E.J. (2013). Students learn more when their teacher has learned to gesture effectively. *Gesture*, 13(2), 210–233.
- Baddeley, A.D. & Hitch, G.J. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (pp. 47–89). New York: Academic Press.
- Birkel, P., Schein, A. & Schumann, H. (2002). *Bausteine-Test*. Hogrefe. Göttingen.
- Correa-Burrows, P., Burrows, R., Orellana, Y. & Ivanovic, D. (2014). Achievement in mathematics and language is linked to regular physical activity: a population study in Chilean youth. *Journal of Sports Sciences*, 32(17), 1631-1638.
- Deyer, F., Henz, D. & Oldenburg, R. (2015). Wirkung bewegungsinduzierender Sitzmöbel im Unterricht auf die Lösungsfähigkeit bei Algebra und die Befindlichkeit. In H. Linneweber-Lammerskitten (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2015*. Münster: Verlag für wissenschaftliche Texte und Medien.
- Fields, C. (2013). Metaphorical motion in mathematical reasoning: further evidence for pre-motor implementation of structure mapping in abstract domains. *Cognitive Processing*, 14(3), 217–229.
- Filloy, E., Puig, L. & Rojano, T. (2008). *Educational Algebra*. New York: Springer.
- Henz, D., Oldenburg, R. & Schöllhorn, W.I. (2015a). Does bodily movement improve mathematical performance? Behavioral and neurophysiological evidence. *Proceedings of the 9th Conference on Research in Mathematical Education CERME 2015*.
- Henz, D., Oldenburg, R. & Schöllhorn, W.I. (2015b). Förderung visuell-räumlicher Lösungsstrategien bei Algebra und Geometrie durch Bewegung. In H. Linneweber-Lammerskitten (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2015*. Münster: Verlag für wissenschaftliche Texte und Medien.
- Henz, D., Schöllhorn, W.I. & Oldenburg, R. (2014). Bessere Mathematikleistungen durch bewegtes Sitzen? Eine EEG-Studie. In J. Roth & J. Ames (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2014* (S. 523–526). Münster: Verlag für wissenschaftliche Texte und Medien.
- Högger, D. (2013). *Körper und Lernen. Wie Bewegung, Körperwahrnehmung und Raumorientierung das Lernen unterstützen*. Bern: Schulverlag.
- Lakoff, G. & Núñez, R. (2000). *Where Mathematics Comes From: How the Embodied Mind Brings Mathematics into Being*. New York: Basic Books.
- Leikin, M., Waisman, I., Shaul, S. & Leikin, R. (2014). Brain activity associated with translation from a visual to a symbolic representation in algebra and geometry. *Journal of Integrative Neuroscience*, 13(1), 35–59.
- Logie, R.H. & Della Sala, S. (2005). Disorders of visuo-spatial working memory. In A. Miyake & P. Shah (Hrsg.), *The Cambridge handbook of visuospatial thinking* (pp. 81–121). New York: Cambridge University Press.
- Wittmann, M.C., Flood, V.J. & Black, K.E. (2012). Algebraic manipulation as motion within a landscape. *Educational Studies in Mathematics*, 82(2), 169–181.