

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

Förderung visuell-räumlicher Lösungsstrategien bei Algebra und Geometrie durch Bewegung: eine EEG-Studie

Aktuelle Studien aus dem Bereich der Kognitions- und Neurowissenschaft belegen Zusammenhänge von körperlichen Bewegungen und kognitiven Verarbeitungsprozessen. Angelehnt an diese Erkenntnisse erfährt das Konzept der bewegten Schule seit einigen Jahren größere Aufmerksamkeit (z. B. Högger, 2013). Für den mathematischen Bereich finden sich Hinweise auf einen Zusammenhang von körperlicher Bewegung und mathematischen Fertigkeiten (Correa-Burrows, Burrows, Orellana & Ivanovic, 2014). Wenig untersucht ist bisher die genaue Schnittstelle zwischen kognitiven Prozessen auf Verhaltensebene und der korrespondierenden Gehirnaktivität bei mathematischen Arbeitsprozessen unter Bewegung. Eine Kenntnis dieser Zusammenhänge kann für die Gestaltung des Mathematikunterrichts, etwa im Sinne eines Einsatzes von Bewegungen während des Lernprozesses, für die Förderung mathematischer Leistungen, insbesondere solcher, die eine visuell-räumliche Verarbeitung erfordern (Alibali et al., 2013), von entscheidendem Nutzen sein.

Algebraischer Symbolraum

Ausgehend von der – nicht unumstrittenen – These von Lakoff und Núñez (2000), dass auch abstrakte Ideen durch konzeptuelle Metaphern aus körperlichen Erfahrungen gebildet werden, hat sich eine Forschungsrichtung entwickelt, die insbesondere Gesten bei algebraischen Transformationsprozessen analysiert. Wittmann, Flood und Black (2012) belegen, dass es angemessen ist, die Bewegung der Symbole beim Arbeiten im algebraischen Kalkül analog zur Bewegung physikalischer Objekte zu beschreiben.

Erklärungen für eine bewegungsbezogene Verarbeitung von Algebra lassen sich aus dem Bereich der Kognitionswissenschaft ableiten. Das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (1986) etwa postuliert verschiedene Subsysteme, die modalitätsspezifisch Informationen verarbeiten, wobei empirische Studien zeigen, 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). Eine fMRT-Studie von Leikin, Waisman, Shaul und Leikin, (2014) belegt Übergänge von einer visuell-räumlichen zu symbolischer Verarbeitung bei Algebra und Geometrie.

Zusammenfassend kann aus diesen Arbeiten die Hypothese vom algebraischen Symbolraum abgeleitet werden: Algebraische Manipulationen finden in einem Symbolraum statt, der analog zu unserem räumlichen Anschauungsraum strukturiert ist. Mit der vorliegenden Untersuchung soll untersucht werden, ob (1) durch bewegtes Sitzen visuell-räumliche Verarbeitungsstrategien bei Algebra gefördert werden, (2) algebraisches Handeln, vergleichbar räumlichem Manipulieren, eine Aktivierung von Gehirnarealen herbeiführt, die mit visuell-räumlicher Verarbeitung assoziiert sind. (3) Einflüsse des Expertisegrades hinsichtlich der Gehirnaktivierung bei der Aufgabenbearbeitung unter Bewegung eine Rolle spielen.

Die vorliegende Studie schließt inhaltlich und methodisch an eine Studie von Henz, Schöllhorn und Oldenburg (2014) an, in der 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 der vorliegenden Studie wurden $n = 12$ gesunde Probanden im Alter von 22.1 bis 24.2 Jahren getestet. Sechs Probanden wurden der Gruppe der Geübten (Studierende der Mathematik, Bachelor of Arts im 5. Fachsemester), sechs Probanden der Gruppe der Ungeübten (Studierende der Sportwissenschaft, Bachelor of Arts im 5. Fachsemester) nach einer Selbsteinschätzung der mathematischen Kompetenz auf einer zehnstufigen Likert-Skala in den drei getesteten Bereichen zugeteilt. Zur Erfassung der mathematischen Leistung wurde ein Arithmetiktest (Num) eingesetzt, der ad hoc, aber theoriebasiert (vgl. Padberg, 2007) 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 Bausteine-Test von Birkel, Schein und Schumann (2002) erfasst. In einem 2 (körperliche Haltungskontrolle im Sitzen: statisch und dynamisch) x 3 (mathematischer Teilbereich: Num, Alg, Geo) x 3 (Schwierigkeitsniveau: leicht, mittel, schwer) Design wurden die Testaufgaben 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 mit einer Frequenz von 256 Hz 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

Die Verhaltensdaten belegen bessere Leistungen in allen Teilbereichen unter bewegtem Sitzen, $F(1, 11) = 5.46, p < .05$. Es zeigt sich ein signifikanter Effekt des Expertiselevels, $F(2, 22) = 4.38, p < .05$, mit einer signifikanten Interaktion von Expertiselevel und Art des Sitzens, $F(2, 22) = 4.21, p < .05$. Anhand der EEG-Spontanaktivität lassen sich Effekte der Haltungskontrolle in Abhängigkeit von der Art der Mathematikaufgabe und des Schwierigkeitsgrades auf die Zusammensetzung der Frequenzbänder beobachten. Bei Alg3 und Geo3 tritt eine erhöhte Theta- und Alpha-Aktivität in den visuellen, somatosensorischen und motorischen Arealen (jeweils $p < .05$), bei Num3 eine erhöhte Gesamtaktivität im Beta- ($p < .05$) und Gamma-Band ($p < .01$) bei dynamischem Sitzen auf. Während bei den Ungeübten das beschriebene Muster der Gehirnaktivierung mit stärkerer Aktivierung des Theta- und Alpha-Bandes auftritt, zeigt sich in der Gruppe der Geübten eine geringe Ausprägung der beschriebenen Gehirnaktivierung.

Diskussion

Die Ergebnisse belegen, dass dynamisches Sitzen visuell-räumliche Verarbeitungsstrategien bei Algebra und Geometrie fördert. Algebraisches Handeln führt dabei eine Aktivierung von Gehirnarealen herbei, die mit visuell-räumlicher Verarbeitung assoziiert sind, wobei eine Stimulation des motorischen Systems durch bewegtes Sitzen eine visuell-räumliche Verarbeitung fördert. Der Expertisegrad spielt hierbei eine entscheidende Rolle. Während bei Ungeübten eine sehr starke Gehirnaktivierung in den visuellen und motorischen Arealen zu beobachten ist, fällt diese bei den Geübten in den gleichen Arealen geringer aus. Experten scheinen eher auf automatisierte Verarbeitungsstrategien zurückzugreifen. Zusammenfassend stützen die Ergebnisse die These des algebraischen Symbolraumes. Die Ergebnisse legen den Einsatz von visuell-motorischen Lern- und Vermittlungsstrategien nahe, da das Gehirn eine physiologische Bereitschaft für eine visuell-räumliche Verarbeitung bei Algebra und Geometrie aufweist. Ferner regen die Ergebnisse an, im Algebra- und Geometrieunterricht Lernumgebungen einzusetzen, die Bewegungen und somit eine visuell-räumliche Verarbeitung fördern. Die vorliegenden Ergebnisse liefern ein wichtiges Argument für den Einsatz von Medien und Geräten, die ein perzeptuell-motorisches

Handeln beim Mathematiklernen im Bereich Algebra und Geometrie fördern (vgl. Hewitt, 2014; Nemirovsky, Kelton & Rhodehamel, 2013).

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.
- 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., 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.
- Hewitt, D. (2014). A symbolic dance: the interplay between movement, notation, and mathematics on a journey toward solving equations. *Mathematical Thinking and Learning*, 16(1), 1–31.
- 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.
- Maus, J., Henz, D. & Schöllhorn, W.I. (2013). Increased EEG-beta activity in attentional tasks under dynamic postural control. In U. Ansorge, E. Kirchler, C. Lamm & H. Leder (Eds.), *TeaP 2013. Abstracts of the 55th Conference of Experimental Psychologists* (p. 396). Lengrich: Pabst Science Publishers.
- Nemirovsky, R., Kelton, M.L. & Rhodehamel, B. (2013). Playing mathematical instruments; Emerging perceptuomotor integration with an interactive mathematics exhibit. *Journal for Research in Mathematics Education*, 44(2), 372–415.
- Padberg, F. (2007). *Didaktik der Arithmetik*. München: Spektrum.
- 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.