

Anselm STROHMAIER, München, Kelsey J. MACKAY, Leuven,
Andreas OBERSTEINER, Freiburg & Kristina REISS, München

Eyetracking in der Mathematikdidaktik: Ein Überblick über die internationale Forschung

Blickbewegungen beim Bearbeiten mathematischer Aufgaben können mit kognitiven Prozessen in Verbindung gebracht werden (vgl. Barnby, Andrà, Gomez, Obersteiner, & Shvarts, 2014; Schindler, Haataja, Lilienthal, Moreno-Esteva, & Shvarts, 2018). Die Methode des Eyetracking wird daher in verschiedensten Bereichen mathematikdidaktischer Forschung eingesetzt, etwa in der Forschung zu numerischer Kognition (Mock, Huber, Klein, & Moeller, 2016), zu Strategien beim Lösen mathematischer Aufgaben (Obersteiner & Tumpek, 2016) und zum Leseverhalten beim Bearbeiten mathematischer Textaufgaben (Strohmaier, Lehner, Beitlich, & Reiss, 2018). Insgesamt gibt es in der Literatur eine Vielzahl unterschiedlicher Ansätze, die eine Bewertung der Eignung von Eyetracking für die Mathematikdidaktik erschweren. Der vorliegende Beitrag stellt ein systematisches Review über Eyetracking-Studien in der Mathematikdidaktik vor. Dabei sollen Ansätze und Erkenntnisse transparent und vergleichbar gemacht, der spezifische Nutzen von Eyetracking für die Mathematikdidaktik reflektiert und weiterer Forschungsbedarf aufgezeigt werden.

Eyetracking in der Mathematikdidaktik

Das Auge ist der entscheidende Faktor bei der Verarbeitung visueller Reize. Durch die Beobachtung von Blickbewegungen können Rückschlüsse auf kognitive Prozesse gezogen werden, da der visuelle Fokus häufig mit dem Fokus der Aufmerksamkeit übereinstimmt (*Eye-Mind Assumption*; Just & Carpenter, 1980). Mit der Weiterentwicklung der technischen Möglichkeiten zur Beobachtung und Auswertung von Blickbewegungen steigt auch die Zahl der durchgeführten Studien, insbesondere innerhalb der letzten zehn Jahre, rapide an (vgl. Abb. 1). Parallel zum technischen Fortschritt des Eyetracking haben sich auch die methodischen Ansätze innerhalb der Mathematikdidaktik weiterentwickelt. Während anfangs grundlegende Fragestellungen zu Aufmerksamkeitsprozessen im Vordergrund standen, werden inzwischen zunehmend Studien mit spezifischeren Fragestellungen durchgeführt. Durch die Diversität der Ansätze wird es zunehmend schwierig, den Nutzen von Eyetracking für die mathematikdidaktische Forschung insgesamt zu bewerten. Ferner erschwert diese Entwicklung auch die Nutzung von Synergien, die sich aus der Verwendung ähnlicher methodischer Ansätze in ganz unterschiedlichen Inhaltsbereichen ergeben könnten. Das Review hat deshalb zum Ziel, einen breiten Überblick über die internationale Forschung zu

Eyetracking in für die Mathematikdidaktik relevanten Bereichen zu geben. Dabei sollen unter anderem die folgenden Forschungsfragen beantwortet werden:

Welche Fragestellungen werden innerhalb der mathematikdidaktischen Forschung mit Hilfe der Methode des Eyetracking untersucht?

Was ist der spezifische Mehrwert der Methode in den vorliegenden Studien?

Wie werden die gewonnenen Daten verarbeitet, interpretiert und in Relation zu anderen Daten gesetzt?

Methode

Neben einer systematischen Recherche in gängigen Datenbanken (MathEduc, Web of Science, Science Direct, EBSCO, Scopus) führten wir ergänzend Recherchen in renommierten Organen der Mathematikdidaktik und der Psychologie durch. Dabei berücksichtigen wir englischsprachig publizierte Studien, die Blickbewegungen videobasiert aufzeichnen und dabei Prozesse des mathematischen Lernens oder Arbeitens analysieren.

Bewertungskriterien

Die Kriterien zur Systematisierung orientieren sich an bisherigen Reviews zur Nutzung von Eyetracking (z.B. Lai et al., 2013; Mock et al., 2016). Darauf aufbauend erarbeiteten wir einen Katalog von insgesamt 36 Bewertungskriterien, der sich zusammensetzt aus technischen (z.B. Gerät, Hersteller, Kalibrierungsdaten), methodischen (z.B. Studiendesign, Auswertungsmethode, Stichprobengröße), inhaltlichen (z.B. Aufgabentyp, Fachbereich) und theoretischen Merkmalen der Studien (z.B. zugrundeliegende Theorie, verwendete Maße). Dabei werden sowohl quantitative als auch qualitative Merkmale der Studien erfasst. Die Kodierung erfolgt durch den Erstautor und die Zweitautorin dieses Beitrags.

Erste Ergebnisse und Diskussion

Die Datenbankrecherche ergab zunächst 1234 Studien, aus denen im nächsten Schritt 188 Studien anhand der Abstracts als relevant eingestuft wurden. Diese Studien werden vollständig codiert. Wir erwarten, dass davon ca. 110 Studien bezüglich der formulierten Kriterien relevant sind. Zum jetzigen Zeitpunkt wurde etwa die Hälfte der Studien ($n = 54$) ausgewertet. 43% der Studien sind dabei innerhalb der letzten vier Jahre erschienen (vgl. Abb. 1).

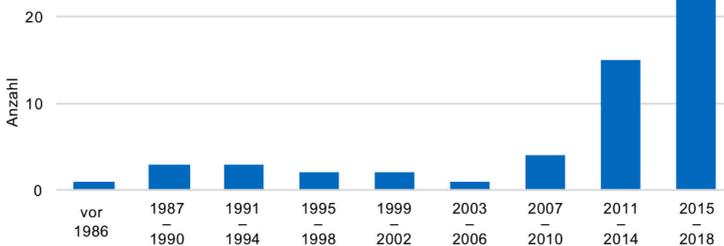


Abb.1: Verteilung der bisher ausgewerteten Studien (ca. 50%) nach Erscheinungsjahr

Die bisher analysierten Studien kommen aus sehr unterschiedlichen Gebieten der Mathematikdidaktik. Dabei lassen sich zwar einige Häufungen erkennen (z.B. zu mentaler Repräsentation von Zahlen, Nutzung von Illustrationen, Textaufgaben, einfache Arithmetik), aber keines der Themengebiete deckt mehr als 15% der Studien ab. Diese Diversität findet sich auch in der Methodik wieder. Die verwendeten Parameter ebenso wie die statistischen Auswertungsmethoden unterscheiden sich teils erheblich zwischen den Studien. Am häufigsten werden die Dauer oder die Anzahl von Fixationen auf bestimmten Elementen mathematischer Aufgaben im Sinne der Eye-Mind Assumption (Just & Carpenter, 1980) interpretiert (59%). Darüber hinaus werden aber auch die kognitive Belastung, unbewusste mentale Modelle oder das strategische Vorgehen durch Blickbewegungen analysiert. Dabei werden etwa Abfolgen und Positionen von Fixationen, die Länge und Richtung von Sakkaden, die mittlere Dauer einzelner Fixationen oder die Reaktionszeit bei der Präsentation von Stimuli analysiert.

In einigen Aspekten lassen sich aber auch Übereinstimmungen erkennen. So gilt es wohl als weitgehend akzeptiert, dass *within-subject-designs* besonders geeignet sind, um kleine Stichproben und eine hohe Varianz der Blickbewegungsmaße zwischen den Personen auszugleichen. 61% der Studien nutzen ein solches Design. *Between-subject-designs* werden häufig genutzt, um Teilnehmerinnen und Teilnehmer bezüglich individueller Merkmale (Leistung, Alter) zu vergleichen (20%). In den meisten Fällen (87%) wurden für die Analyse auch noch andere Maße erhoben, etwa Leistung, Relationszeit oder Interviewdaten.

Die Stichprobengröße betrug in den Experimenten im Mittel $M = 31$ (Spannweite 2–79), wobei häufig eine substanzielle Anzahl an Teilnehmerinnen und Teilnehmern aufgrund technischer Probleme ausgeschlossen wurde. In den Studien, die dies berichteten, betraf das durchschnittlich 14,8% der Teilnehmerinnen und Teilnehmer (Maximum: 45,2%). In etwa der Hälfte der Studien wurden Erwachsene untersucht. Beide Aspekte werfen die Frage

auf, wie übertragbar solche Forschungsergebnisse sind. Hier ist es von erheblicher Bedeutung, durch eine genaue Dokumentation des Studiendesigns eine Evaluation und Replikation zu ermöglichen. In den bisher untersuchten Studien findet sich keine einzige Replikationsstudie.

Beinahe alle Studien wurden unter Laborbedingungen (93%) und in Einzelsitzungen (98%) durchgeführt. Lediglich eine Studie nutzte die Technik des mobilen Eyetracking, die es ermöglicht, ohne Monitor zu arbeiten. Oftmals ist es deshalb nicht unmittelbar klar, inwiefern sich Forschungsergebnisse in den Schulalltag übertragen lassen.

Zusammenfassend belegen die ersten Ergebnisse dieses Reviews die zunehmende Bedeutung von Eyetracking für die mathematikdidaktische Forschung und legen angesichts der großen Heterogenität in den Vorgehensweisen Diskussionsbedarf bezüglich der Interpretation von Eyetrackingdaten nahe.

Literatur

- Barmby, P., Andrà, C., Gomez, D., Obersteiner, A., & Shvarts, A. (2014). The use of eye-tracking technology in Mathematics Education research. In P. Liljedahl, C. Nicol, S. Oosterle, & D. Allan (Eds.), *Proceedings of the Joint Meeting of PME 38 and PME-NA 36* (Vol. 1, pp. 253). Vancouver, Canada: PME.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, *87*, 329-354. doi:10.1037/0033-295X.87.4.329
- Lai, M.-L., Tsai, M.-J., Yang, F.-Y., Hsu, C.-Y., Liu, T.-C., Lee, S. W.-Y., . . . Tsai, C.-C. (2013). A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012. *Educational Research Review*, *10*, 90-115. doi:10.1016/j.edurev.2013.10.001
- Mock, J., Huber, S., Klein, E., & Moeller, K. (2016). Insights into numerical cognition: considering eye-fixations in number processing and arithmetic. *Psychological Research*, *80*(3), 334-359. doi:10.1007/s00426-015-0739-9
- Obersteiner, A., & Tumpek, C. (2016). Measuring fraction comparison strategies with eye-tracking. *ZDM*, *48*(3), 255–266. doi:10.1007/s11858-015-0742-z
- Rayner, K., Pollatsek, A., Ashby, J., & Clifton, C. (2012). *Psychology of reading* (2 ed.). New York: Psychology Press.
- Schindler, M., Haataja, E., Lilienthal, A. J., Moreno-Esteva, E. G., & Shvarts, A. (2018). Eye-tracking in Mathematics Education research: a follow-up on opportunities and challenges. In E. Bergqvist, M. Österholm, C. Granberg, & L. Sumpter (Eds.), *Proceedings of the 42nd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (Vol. 1, pp. 209-210). Umeå, Sweden: PME.
- Strohmaier, A. R., Lehner, M. C., Beitlich, J. T., & Reiss, K. M. (2018). Eye movements during mathematical word problem solving - global measures and individual differences. *Manuscript submitted for publication*.