

OPPMANN, Maria-Martine; BEEGE, Maik; HOFER, Sarah &
REINHOLD, Frank
Freiburg & München

Motivational-emotionales Engagement vermittelt die Wirkung digitaler simulationsgestützter Erkundungen auf das Bruchrechnenlernen

Einleitung

Brüche stellen für Lernende eine Herausforderung dar (Lortie-Forgues et al., 2015), sind jedoch essenziell für die mathematische Grundbildung (Bailey et al., 2012; Siegler et al., 2012). Das früh zu erlernende Teil-Ganzes-Konzept gilt dabei als ein Zugang zu Vorstellungen von rationalen Zahlen (Behr et al., 1983; Reinhold et al., 2020). Es kann zwischen "Teil eines Ganzen" (z. B. $\frac{3}{4}$ von 1) und "Teil mehrerer Ganzer" ($\frac{1}{4}$ von 3) unterschieden werden (Streefland, 1991). Ein Lernziel ist dabei, dass Schülerinnen und Schüler verstehen, dass beide Teilkonzepte äquivalente Brüche beschreiben.

Der Einsatz digitaler Lernumgebungen hat sich als vielversprechender Ansatz erwiesen, um Schülerinnen und Schülern den Erwerb solcher mathematischen Konzepte zu erleichtern (Reinhold et al., 2021) und sowohl ihre kognitive als auch ihre motivational-emotionale Entwicklung zu fördern.

Die Embodied-Cognition-Theorie (Wilson, 2002) postuliert, dass geeignete Gesten auf der kognitiven Ebene das Erlernen komplexer mathematischer Inhalte erleichtern können. Konkret kann der Aufbau des Teil-Ganzes-Konzepts durch die Anpassung verwendeter Gesten (hier die Verteilung von Pizzen, welche durch Schneiden und Schieben mit den Fingern vorgenommen wird) an das zu entwickelnde mentale Modell unterstützt werden. Die Verwendung von Touchscreens in geeigneten, simulationsbasierten Lernumgebungen kann dazu beitragen, das Erlernen geeigneter Konzepte zu fördern.

Die theoretische Grundlage für die vorliegende Studie ist eine Synthese aus (1) dem allgemeinen Modell der Determinanten und des Verlaufs motivierten Handelns als Produkt von Person und Situation (Heckhausen & Heckhausen, 2018), (2) dem Angebots-Nutzungs-Modell (Seidel, 2014) und (3) dem Konzept des 'Classroom Engagement' als vielschichtige Prozessvariable (Fredricks et al., 2004) – zusammengefasst in Abb. 1.

In der vorliegenden Studie untersuchten wir, ob interaktive Manipulationen in digitalen simulationsbasierten Lernumgebungen (mit kongruenten Gesten an realistischen Modellen) in der Erkundungsphase des Bruchrechnenunterrichts die kontextualisierte Motivation, das situative Interesse und die

subjektive Anstrengung positiv beeinflussen – und zu besseren Lernergebnissen führen.

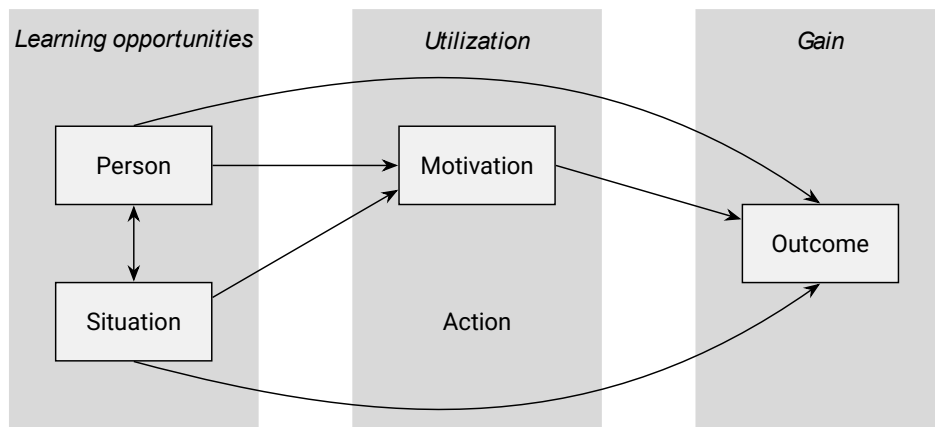


Abb. 1. Wirkungshypothese von digital unterstütztem Mathematikunterricht durch eine Veränderung der Angebotsnutzung – hier mit Fokus auf Motivation.

Method

Insgesamt nahmen $N = 292$ Sechstklässler:innen aus Schulen in Baden-Württemberg an der 90-minütigen randomisierten kontrollierten Studie teil. Für die Intervention wurden die Lernenden aus $k = 13$ Klassen jeweils zufällig entweder der Kontrollbedingung ($n = 141$, papierbasierte Lernumgebung ohne interaktive Simulation) oder der Experimentalbedingung ($n = 151$, digitale simulationsbasierte Lernumgebung) zugeordnet.

Als digitale simulationsbasierte Lernumgebung wurde das elektronische Lehrbuch *ALICE:fractions* verwendet, das sich auf den Aufbau von konzeptuellem Wissen konzentriert und sich bereits in authentischen Lernszenarien als wirksam erwiesen hat (Reinhold et al., 2020). Die Lernenden näherten sich dem Konzept "Teil mehrerer Ganzer" anschaulich und realitätsnah durch das *Verteilen von 4 Pizzen an 3 Personen* in einer gestuften Explorationsaufgabe an (Streefland, 1991). In der Experimentalgruppe wurden Pizzen durch eine Ziehbewegung des Fingers vom Rand ausgeschnitten, wobei automatisch ein Messer präsentiert wurde. Zur Verteilung der einzelnen Pizastücke erschien eine Hand, sobald der Finger auf das jeweilige Stück gehalten wurde (Abb. 2). Anschließend wurden die Ergebnisse im Plenum papierbasiert gesammelt und danach Übungsaufgaben in Einzelarbeit papierbasiert bearbeitet. Die Kontrollgruppe arbeitete mit demselben Material – jedoch auch in der Erkundung in papierbasierter Form (ohne Anregung kongruenter Gesten).

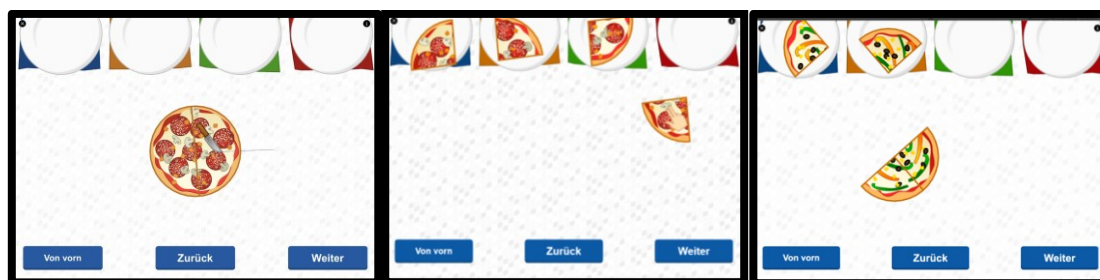


Abb. 2. Schneiden und Verteilen von Pizzastücken in der digitalen Lernumgebung

Das motivational-emotionale Engagement wurde durch kontextbezogene Motivation, situatives Interesse und subjektive Anstrengung mittels Selbstauskünften in einem Fragebogen mit jeweils fünf Items auf vierstufigen Likert-Skalen operationalisiert.

Um unsere Mediationshypothese zu testen, schätzten wir ein Strukturgleichungsmodell sowohl ohne als auch mit dem relevanten indirekten Effekt in *R* mit *Lavaan* unter Verwendung der Bollen-Stine-Bootstrapping-Methode mit einer Stichprobe von 1.000 und standardisierten Koeffizienten.

Ergebnisse

Ein signifikanter Unterschied zugunsten der Experimentalgruppe wurde hinsichtlich der kontextualisierten Motivation, des situativen Interesses, und der subjektiven Anstrengung, festgestellt. Demgegenüber waren die Posttestergebnisse zwar deskriptiv besser, jedoch nicht signifikant.

Die Experimentalgruppe zeigte signifikant höhere Ausprägungen im Mediator motivational-emotionales Engagement (latente Variable bestehend aus kontextbezogene Motivation, situatives Interesse und subjektive Anstrengung); dieses motivational-emotionale Engagement hatte einen signifikant positiven Effekt auf die Leistung nach dem Test. und in Übereinstimmung mit unserer Hypothese fanden wir einen signifikanten indirekten Effekt.

Diskussion

In der vorliegenden Studie wurde untersucht, ob interaktive Manipulationen in digitalen simulationsbasierten Lernumgebungen während der Erkundungsphase im Mathematikunterricht die kontextualisierte Motivation, das situative Interesse und die subjektive Anstrengung steigern und ob diese positiv mit dem Lernzuwachs korrelieren.

Die Ergebnisse der Experimentalgruppe im motivational-emotionalen Engagement waren signifikant besser, während die besseren Ergebnisse im Posttest zwar deskriptiv, aber nicht signifikant waren. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die Übungsphase in beiden Gruppen papierbasiert stattfand.

Die Ergebnisse verdeutlichen die Relevanz von Engagement und unterstützenden Features in digitalen Lernumgebungen, insbesondere bei herausfordernden Inhalten, wie dem Anfangsunterricht der Bruchrechnung.

Anschließende Untersuchungen sollten die Auswirkungen des Engagements auf das Lernen näher beleuchten. Dazu können gesammelte Prozessdaten, wie beispielsweise Problemlösungszeit und Lösungsbeschreibungen, weiter untersucht werden.

Literatur

- Bailey, D. H., Hoard, M. K., Nugent, L., & Geary, D. C. (2012). Competence with fractions predicts gains in mathematics achievement. *Journal of Experimental Child Psychology*, 113(3), 447–455. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2012.06.004>
- Behr, M. J., Lesh, R., Post, T. R., & Silver, E. A. (1983). Rational-Number Concepts. In R. Lesh & M. Landau (Eds.), *Acquisition of Mathematics Concepts and Processes* (pp. 91-126). Academic Press.
- Fredricks, J. A., Blumenfeld, P. C., & Paris, A. H. (2004). School Engagement: Potential of the Concept, State of the Evidence. *Review of Educational Research*, 74(1), 59–109. <https://doi.org/10.3102/00346543074001059>
- Heckhausen, J., & Heckhausen, H. (Eds.). (2018). *Motivation and Action*. Springer
- Lortie-Forgues, H., Tian, J., & Siegler, R. S. (2015). Why is learning fraction and decimal arithmetic so difficult? *Developmental Review*, 38, 201–221. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2015.07.008>
- Reinhold, F., Hoch, S., Werner, B., Richter-Gebert, J., & Reiss, K. (2020). Learning Fractions with and without Educational Technology: What Matters for High-Achieving and Low-Achieving Students? *Learning and Instruction*, 65, 101264. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101264>
- Reinhold, F., Leuders, T., Loibl, K., Nückles, M., Beege, M., & Boelmann, J. M. (2024). Learning Mechanisms Explaining Learning With Digital Tools in Educational Settings: A Cognitive Process Framework. *Educational Psychology Review*, 36(1), 14. <https://doi.org/10.1007/s10648-024-09845-6>
- Seidel, T. (2014). Angebots-Nutzungs-Modelle in der Unterrichtspsychologie. Integration von Struktur- und Prozessparadigma [Utilization-of-learning-opportunities models in the psychology of Instruction: Integration of the paradigms of structure and of process]. *Zeitschrift Für Pädagogik*, 60(6), 850–866
- Siegler, R. S., Duncan, G. J., Davis-Kean, P. E., Duckworth, K., Claessens, A., Engel, M., Susperreguy, M. I., & Chen, M. (2012). Early Predictors of High School Mathematics Achievement. *Psychological Science*, 23(7), 691-697
- Streefland, L. (1991). *Fractions in Realistic Mathematics Education: A Paradigm of Developmental Research*. Springer
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 625-636