

Felicitas PIELSTICKER, Siegen & Ingo WITZKE, Siegen

Eine kognitions- und neurowissenschaftliche Erkenntnisdimension für die Mathematikdidaktik

Anspruch der Bildungsforschung im Allgemeinen – und der Mathematikdidaktik im Besonderen – ist es Lernprozesse von Schüler*innen möglichst präzise und ganzheitlich zu beschreiben. Mit Blick auf dieses Ziel ist es sehr verwunderlich, dass neurowissenschaftliche Erkenntnisse bzw. Erkenntnisse auf Grundlage (medizinischer) Bildgebungs- und Messverfahren – zumindest mit Blick auf die deutsche mathematikdidaktische Community – nicht mehr Berücksichtigung in der bildungswissenschaftlichen Forschung finden. Jedoch lässt sich festhalten, dass durch die rasante technische Entwicklung mittlerweile gut verfügbarer digitaler Technologien wie Eye-Tracking, Bewegungs-Tracking, VR-Analyse, fMRT, EEG etc. die Möglichkeit besteht, systematisch die mathematikdidaktische Grundlagenforschung um neue Perspektiven zu bereichern (Pielsticker et al., 2022; Pielsticker, 2022).

Mathematikdidaktische Forschung mit bildgebenden Verfahren

Gerade die Mathematikdidaktik mit aktiven Schnittstellen beispielsweise zu Philosophie, Psychologie, Soziologie ergänzt um IT und Medizin bietet ein ideales Umfeld um ausgehend vom Ansatz einer „Embodied Mathematics“ (Tall, 2013) Mathematisches Lehren und Lernen mit dem ganzen Körper auf kognitiver (Fokus: Gehirn) und affektiver Ebene (Fokus: Sprache & Stimulation) besser zu verstehen. Aufbauend auf den Erfahrungen zu Eye-Tracking und Pulsuhren wird zurzeit ein empirisches Forschungsdesign zur systematischen Identifikation mathematischer Denkformen mithilfe bildgebender Verfahrenstechnik (fMRT) entwickelt. FMRT bietet viele Möglichkeiten, Aktivierungsmuster im Gehirn zu mathematischen Impulsen rekonstruieren zu können. Möglich werden dann Rückschlüsse zu charakteristischen (mathematischen) Tätigkeiten, wie Üben, Problemlösen, Verarbeitung von Darstellungen, Ausprägung und Anwendung von Denkstilen etc. Erste Ergebnisse einer Einbeziehung neurowissenschaftlicher Erkenntnisse in mathematikdidaktischer Forschung lassen sich bereits finden. Bereits 2010 wurde dieses Forschungsdesiderat festgestellt und mit einer Ausgabe von ZDM (Grabner et al., 2010) adressiert und 2016 retrospektiv dort wieder aufgegriffen (Grabner et al., 2016). Letztlich bleibt festzuhalten, dass die Forschungslage mit Bezug zur Mathematikdidaktik derzeit überschaubar bleibt und Obersteiner et al. bspw. für das Themengebiet der Bruchrechnung festhalten, „studies on the neural correlates of how fraction processing develops and shapes the brain are completely lacking“ (Obersteiner et al., 2019, S.

148). An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass neurowissenschaftliche Erkenntnisse in der Psychologie bereits einen derart prominenten Platz eingenommen haben, dass für psychologische Erkenntnisse auch immer häufiger ein neurowissenschaftlicher Nachweis erbracht und erwartet wird (Schwartz et al., 2016).

Kognitions- und neurowissenschaftliche Erkenntnisdimension (knE)

Für den integrativen kognitions- und neurowissenschaftlichen Zugang ist für das Habilitationsprojekt der Autorin zunächst folgende Arbeitsdefinition zugrunde gelegt: *Zu knE ($\hat{=}$ kognitions- und neurowissenschaftliche Erkenntnisdimension) zählen Beschreibungen und Analysen, die mit Blick auf die Mathematikdidaktik gleichzeitig eine kognitions- und eine neurowissenschaftliche Perspektive auf den Forschungsgegenstand einnehmen. In der Kombination wird eine ganzheitlichere Perspektive auf Lehren und Lernen von Mathematik ermöglicht. Der „Blick in den Kopf“ hat dabei einen Erkenntniswert, der klassische kognitionswissenschaftliche Zugänge um eine weitere Argumentationsbasis auf Grund neuronaler Aktivierungsmuster erweitern kann. Mit knE kann eine „äußere“ Beschreibung von Verhalten und Handeln mit einer Beschreibung „innerer“ Prozesse, insbesondere Hirnaktivität, zusammengebracht und so dem mathematikdidaktischen Diskurs zugeführt werden. „Kognitive Neurowissenschaft meets Mathematikdidaktik“ (Gössinger, 2020), „Cognitive neuroscience and mathematics learning: How far have we come?“ (Ansari & Lyons, 2016) oder „Neurowissenschaft und Fachdidaktik – diskutiert am Beispiel der Mathematikdidaktik“ (Bauersfeld, 1998) und ähnliche Beiträge geben Hinweise auf eine Bereitschaft zu dieser interdisziplinären Herangehensweise. Ein bekanntes und immer wieder aufgegriffenes Modell für die Beschreibung anatomisch-funktionaler Vorgänge beim Rechnen ist z. B. das Triple-Code-Modell (Dehaene & Cohen, 1997). Nun ist zu beobachten, dass einige kognitionspsychologische Studien, welche mit Blick auf den Bildungsbereich tatsächlich medizinische Bildgebungsverfahren wie fMRT nutzen, sich bereits mathematischer Items bedienen. Hier können aus meiner Sicht mathematikdidaktische Perspektiven (z.B. aus der Stoffdidaktik) einen wesentlichen Beitrag leisten, um diese besser einordnen zu können (Pielsticker et al., 2022). So werden beispielsweise mit Blick auf einzelne symbolische Darstellungen (bspw. Dezimalbruch vs. gemeiner Bruch) teilweise Schlüsse unabhängig vom symbolischen Gesamtkontext gezogen (DeWolf et al., 2016). Diese legen dann aus mathematikdidaktischer Sicht fragwürdige Verallgemeinerungen wie ‚Dezimalbruchdarstellungen sind grundsätzlich leichter zu verarbeiten‘ nahe. Das integrativ gedachte Konzept der knE sei nachfolgend am Beispiel des „Übens“ kurz beschrieben (Pielsticker et al., 2020). So postuliert Winter (1984),*

dass Üben kognitiv entlastet und auf diese Weise freie neue Kapazitäten für (komplexere) Problemlöseprozesse geschaffen werden. Dieses Postulat lässt sich auf Grundlage der Beobachtung der Löseprozesse von Aufgabenserien beschreiben. Eine neurowissenschaftliche Sichtweise kann an dieser Stelle nun einen weiteren deskriptiven Zugang hinzufügen: Kognitive Entlastung wird dabei eingebettet in den Effekt der Neuroplastizität gesehen, d.h. nachweisbaren strukturellen Anpassungen, wie z. B. dem tatsächlich physiologisch messbaren Wachstum von Gehirnmasse (Mock et al., 2019) auf Grund der Durchführung von Übungsserien. Diese Anpassungen gehen einher mit einer steten Verringerung der Anzahl der beteiligten Hirnareale, was neurowissenschaftlich als Entlastung interpretiert wird. Ischebeck et al. (2009) beschreiben tatsächlich eine Tendenz des Gehirns zu Automatisierung von geübten (mathematischen) Prozessen. Mit Hilfe der integrativen knE soll es möglich werden, beispielsweise Ergebnisse eines messbaren Trainingseffekts des Gehirns mit Erkenntnissen der Mathematikdidaktik zusammenzubringen, um den kognitiven und physiologischen Grundvoraussetzungen des Lernenden bestmöglich zu entsprechen.

KnE zur Beschreibung von isoliertem und vernetztem Wissen

KnE grundlagentheoretisch und empirisch für die mathematikdidaktische Forschung zu fundieren ist wesentliches Ziel des Habilitationsprojektes „Creating an explanatory epistemic dimension for mathematics education: An integrative cognitive-neuroscientific approach“. Dabei sollen in der Kombination von kognitions- und neurowissenschaftlichen Zugängen systematisch neue Erkenntnisse zum Üben, Problemlösen, Verarbeitung von Darstellungen, Ausprägung und Anwendung von Denkstilen etc. gewonnen werden, welche ihrerseits wiederum die theoretische Ausschärfung von knE für die Mathematikdidaktik ermöglichen. Es geht nicht um ein „Gedankenlesen“, sondern darum, Aktivierungsmuster im Gehirn beim Mathematiktreiben zu beschreiben. Die knE soll die mathematikdidaktische Diskussion um Einsichten darüber bereichern, wie unser Gehirn arbeitet, wenn wir (mathematisch) denken. Beobachten zu können wo, wann gedacht wird, ob in vernetzten oder singulären Bereichen, wie sich diese vernetzen und wie sich diese „Denkverortungen“ z.B. durch Üben verschieben, eröffnet neue Dimensionen zur Erklärung mathematischer Wissensaktivierungsprozesse.

Literatur

- Ansari, D. & Lyons, I. (2016). Cognitive neuroscience and mathematics learning: how far have we come? Where do we need to go? *ZDM*, 48, 379–383.
<https://doi.org/10.1007/s11858-016-0782-z>
- Bauersfeld, H. (1998). Neurowissenschaften und Fachdidaktik - diskutiert am Beispiel der Mathematik. *Mathematica Didactica*, 21(2), 3–25.

- Dehaene, S. & Cohen, L. (1997). Cerebral pathways for calculation: double dissociation between rote verbal and quantitative knowledge of arithmetic. *Cortex*, 33, 219–250.
- DeWolf, M., Chiang, J. N., Bassok, M., Holyoak, K. J. & Monti, M. (2016). Neural representations of magnitude for natural and rational numbers. *Neuroimage*, 141(1), 304–312. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.07.052>
- Grabner, R.H., Ansari, D., Schneider, M., De Smedt, B., Hannula, M. M. & Stern, E. (Hrsg.). (2010). Cognitive neuroscience and mathematics learning. *ZDM*, 42(6).
- Grabner, R.H. & De Smedt, B. (Hrsg.) (2016). Cognitive neuroscience and mathematics learning – revisited after five years. *ZDM*, 48(3).
- Gössinger, P. (2020). Kognitive Neurowissenschaft meets Mathematikdidaktik Interdisziplinäre Forschungsdesigns mit Perspektiven für die Didaktik der Mathematik. *R&E-Source*, 14, 1–15.
- Ischebeck, A., Zamarian, L., Schocke, M. & Delazer, M. (2009). *Flexible Transfer of Knowledge in Mental Arithmetic – An fMRI Study*. *Neuroimage*, 44(3), 1103–1112.
- Mock, J., Huber, S., Bloechle, J., Bahnmüller, J., Moeller, K. & Klein, E. (2019). Processing symbolic and non-symbolic proportions: Domain-specific numerical and domain-general processes in intraparietal cortex. *Brain Research*, 1714, 133–146. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2019.02.029>
- Obersteiner, A., Dresler, T., Bieck, S. M. & Moeller, K. (2019). Understanding Fractions: Integrating Results from Mathematics Education, Cognitive Psychology, and Neuroscience. In A. Norton & M. W. Alibali (Hrsg.), *Constructing Number, Merging Perspectives from Psychology and Mathematics Education* (S. 135–162). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00491-0_7
- Pielsticker, F., Pielsticker, C. & Witzke, I. (2020). Classifications of Neuroscientific-Radiological Findings on “Practicing” in Mathematics Learning. *International Journal of Psychological and Behavioral Sciences*, 14(12), 1302–1310.
- Pielsticker, F., Pielsticker, C., & Witzke, I. (2022). Symbolic representation in mathematics: fMRI-based neuroeducation perspectives on the hypothesis that symbolism is a relief for our brain when thinking about fractions. *Didacticum - Zeitschrift für (Fach)Didaktik in Forschung und Unterricht*, 4, 22-50.
- Pielsticker, F. (2022). *Formulation of an Epistemological Dimension combining Cognitive Science and Neuroscientific Approaches for Mathematics Education*. Research Gate. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15649.68962>
- Schwartz, S. J., Lilienfeld, S. O., Meca, A. & Sauvigné, K.C. (2016). The role of neuroscience within psychology: A call for inclusiveness over exclusiveness. *American Psychologist*, 71(1), 52–70. <https://doi.org/10.1037/a0039678>
- Tall, D. (2013). *How humans learn to think mathematically. Exploring the three worlds of mathematics*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139565202>
- Winter, H. (1984). Begriff und Bedeutung des Übens im Mathematikunterricht. *Mathematiklehren*, 84, 4–16.