

Marion ZÖGgeler, Salzburg

Räumliches Denken und Handeln im mathematisch-physikalischen Kontext: Beispiel Dynamik

Das Raumdenken und Raumhandeln gilt in der Fachdidaktik als aufzuwerdender Aspekt der schulischen Bildung, besonders in den naturwissenschaftlichen Fächern. Gerade die Erfordernisse, die sich aus verschiedenen Studien zur Raumvorstellung in Bezug zu den STE(A)M-Fächern, vor allem in Mathematik, Geometrie und Physik, ergeben, weisen auf eine gesamtheitliche Sicht der Raumvorstellung hin (z. B. Hawes et al., 2015; Cole et al., 2018) und legen den Schwerpunkt auf die Entwicklung und Anwendung räumlicher Denk- und Arbeitsprozesse, die zur Lösung von Raumvorstellungsaufgaben herangezogen werden. In zahlreichen Studien wird auch auf die Förderung der Raumvorstellung und auf die diesbezüglichen Erfordernisse in den beruflichen Karrieren hingewiesen (Sorby, 2009; Castro-Alonso & Uttal, 2019). Es stellt sich die Frage, ob und mit welchem Erfolg gezielte Fördermaßnahmen in den STE(A)M-Fächern eingesetzt werden können. Im Folgenden soll – am räumlichen Aspekt der Dynamik – der Vergleich der verschiedenen wissenschaftlichen Zugänge von Faktoren der Raumvorstellung über Lösungsstrategien bis hin zum räumlichen Denken und Handeln aufgezeigt werden.

Geschichtlicher Abriss zur Erforschung der Raumvorstellung

In einem der ersten Standardwerke zur Raumvorstellung (Thurstone, 1938) findet sich eine räumlich technische Aufgabe, die ein Zahnrad in einem Rahmen darstellt und in der die Frage nach der Bewegungsrichtung des Rahmens bei einer Drehung des inneren Zahnrades gestellt wird. Die Aufgabe zeigt die Bewegung innerhalb eines Systems und deren Auswirkung auf das Gesamte. Im Jahre 1938 veröffentlichte Louis Thurstone seine Ideen zu den Primary Abilities in Visual Thinking (Thurstone, 1938). In Bezug zum Bild des Zahnrades nennt Thurstone die Fähigkeit, sich eine Bewegung und deren Auswirkung vorzustellen, und – anhand weiterer Beispiele – die Fähigkeit, eine interne Veränderung bzw. innere Verformung von Teilen einer Konfiguration nachzuvollziehen, „Visualization“ als „the ability to imagine the movement or internal displacement among the parts of a configuration“ (Thurstone, 1938). Die Denkprozesse, die mit dem Faktor Visualisierung verbunden sind, erscheinen als dynamische Bewegung entweder innerhalb des Systems oder vom Beobachter hineingedacht. Unter Dynamik wird in diesem Sinne nicht der physikalische Begriff und dessen Klärung verstanden, bei dem die zugrundeliegende Kraft im Mittelpunkt steht, sondern die

Vorstellung der Bewegung im Sinne der Kinematik. Zu den Primary Abilities in Visual Thinking zählt Thurstone neben Visualization Spatial Orientation und Spatial Relation. Bei letzterer Fähigkeit geht es um das Erfassen von Konstellationen von Gegenständen, aus verschiedenen Blickwinkeln oder in gedrehter Darstellung, und deren Beziehungen zueinander. Diese ist vorwiegend statischer Natur, auch wenn bei der Bearbeitung von Aufgaben die gesamte Anordnung gedanklich bewegt werden kann und einen dynamischen Aspekt erhält.

Nach Jahrzehnten intensiver Suche nach deutlich abgegrenzten Teilbereichen der Raumvorstellung und nach dem Versuch, ein allgemeingültiges Faktorenmodell aufzustellen, ist die postfaktorielle Phase von der Erkenntnis geprägt, dass keine allgemeingültige Faktorentheorie bisher gefunden werden konnte und aufgrund der Komplexität der Raumvorstellung auch nicht erwartet werden kann. Neuerdings befasst sich die Forschung –angeregt von neurowissenschaftlichen Erkenntnissen und digitalen Möglichkeiten – wieder verstärkt mit der Struktur der Raumvorstellung und versucht, durch die Vielfalt der Aspekte, unter denen auch die Dynamik gewichtet ist, ein möglichst gesamtheitliches Bild der Raumvorstellung zu erhalten (Schneider & McGrew, 2012; Buckley et al., 2017), das in den STE(A)M-Fächern zu neuer Bedeutung gelangt.

Strategien und Grundroutinen räumlichen Denkens und Handelns

„Das Raumvorstellungsvermögen wird als die Fähigkeit eines Individuums erachtet, durch Denken räumliche Objekte mental zu erzeugen und zu transformieren, Relationen zwischen mehreren dieser mentalen Objekte zu erkennen und herzustellen und selbst mental unterschiedliche räumliche Positionen einzunehmen.“ (Maresch, 2018)

Objekte mental transformieren bedeutet, sich gedanklich eine Schiebung, Spiegelung, Drehung und Skalierung vorzustellen und damit zu operieren. Weitere wesentliche Komponenten sind das Erkennen und Herstellen von Relationen zwischen Objekten, wie Boolesche Operationen und Schnitte, sowie sich gedanklich im Raum zu bewegen und dabei verschiedene Sichtweisen einzunehmen. In dieser erweiterten Definition der Raumvorstellung wird der Zusammenhang zu geometrisch-mathematischen Inhalten hervorgehoben. Damit wird eine Verbindung zu Leitideen der Raumgeometrie, unter anderen zur Idee der Dynamik als zentraler Aspekt der Raumvorstellung, hergestellt. Die Idee der Dynamik beinhaltet das Bewegen und Verändern von Körpern zu neuen Objekten, auch objektinterne Bewegungen, die Veränderung der Lage des Objektes und die Vorstellung und Vorhersage von

Bahnkurven. Das dabei beanspruchte Raumdenken ist für technische Aufgaben unerlässlich, z. B. für die Vorstellung der Bewegung von Zahnrädern, Rollen, Maschinenteilen und Roboterarmen. Dies zeigt einen Bezug zur anfangs beschriebenen räumlich mechanischen Aufgabe des Zahnrades von Thurstone (1938).

Mit der aktuellen Erforschung eines gesamtheitlichen Raumvorstellungsvermögens treten neuerdings wieder Problemlösungs- und Denkprozesse, als problem solving behaviour und als mental operations und representations (z. B. Just & Carpenter, 1985), in den Vordergrund und führen zur Erkenntnis von unterschiedlichen, teilweise voneinander unabhängigen Lösungsstrategien. Als Beispiele können folgende räumliche Denk- und Arbeitsprozesse angeführt werden: Neben dem Erkennen und Vergleichen markanter Merkmale und einer gesamtheitlichen Sicht bzw. Teilansicht eines Vorstellungsbildes gehören auch die Wahl von Koordinatensystemen für das Erkennen von Objekten und ihrer Lage und die mentale Rotation um Standardachsen und objektinterne Achsen sowie die Bewegung des Objektes als auch des Betrachtenden zu wesentlichen Prozessen des Raumdenkens und -handelns.

Als Vorstufe und notwendige Voraussetzung zur Raumvorstellung wird heute die Visuelle Wahrnehmung gesehen. Sie betrifft den anatomischen und neurologischen Ablauf des Sehens bis hin zum Erkennen von räumlichen Objekten unserer sichtbaren gegenständlichen Welt. Dies bedeutet die Wahrnehmung eines Gegenstandes durch das Erfassen seiner Wesensmerkmale, der Lage und des Positionswechsels in seinem realen Umfeld. Daran schließt die Raumvorstellung an, das mentale Arbeiten mit den räumlichen Objekten, z. B. das Transformieren, Drehen, Spiegeln, Skalieren und Schneiden, sowie das Orientierungsvermögen in der mentalen Vorstellung. Das räumliche Denken und räumliche Handeln umfasst die beiden Bereiche, die Visuelle Wahrnehmung und die Raumvorstellung. Das Modell der Grundroutinen (Maresch, in process) ist ein Versuch, grundlegende Facetten des räumlichen Denkens und Handelns zu identifizieren und in eine aufbauende Ordnung zu bringen. Diese Grundfähigkeiten betreffen Denkvorgänge, wie beispielsweise das Trennen wesentlicher Merkmale von unwesentlichen, das Erkennen von Formen, auch in veränderter Darstellung, wie bei ähnlichen Dreiecken oder gedreht dargestellten Schaltkreisen, ebenso wie die räumliche Beziehung zwischen Bewegungsrichtung und einwirkenden Kräften. Unter anderem wird auch auf die Grundroutine der Dynamik hingewiesen, die dazu befähigt, Bewegungen zu verstehen, zeitlich sich verändernde Bewegungen zu erfassen sowie Bewegungsabläufe und Bahnen bewegter Körper sich vor-

zustellen. Dies betrifft Fachinhalte der STE(A)M-Fächer, die eine gesamtgesellschaftliche Sicht des räumlichen Denkens und Handelns und entsprechende räumliche Denk- und Arbeitsprozesse beanspruchen.

Abschließend stellt sich die Frage, inwieweit durch gezielte Förderung in den STE(A)M-Fächern ein sichtbarer Erfolg im räumlichen Denken und Handeln erreicht werden kann. Studienergebnisse zeigen, dass Raumvorstellungstraining das Lernen in den STE(A)M-Fächern erfolgreich fördert und sich auf den Denkprozess, auf die raschere Verarbeitung von visuell-räumlichen Informationen und auf die Interaktion von Raumvorstellung mit psychosozialen Aspekten auswirkt (Sorby, 2009; Castro-Alonso & Uttal, 2019). Damit kann den Anforderungen spezieller Berufe gezielt entsprochen werden.

Literatur

- Buckley, J., Canty, D. & Seery, N. (2017). Spatial cognition in engineering education: developing a spatial ability framework to support the translation of theory into practice. *European Journal of Engineering Education*.
- Castro-Alonso, J. C. & Uttal, D. H. (2019). Science Education and Visuospatial Processing. In Castro-Alonso (Hrsg.), *Visuospatial Processing for Education in Health and Natural Sciences*. Springer Natur Switzerland AG.
- Cole, M., Cohen, Ch., Wilhelm, J. & Lindell, R. (2018). Spatial Thinking in astronomy education research. *Physical Review. Physics Education Research* 14.
- Hawes, Z., Tepylo, D. & Moss, J. (2015). Developing spatial thinking. Implications for early mathematics education. In Davis, B. & Spatial Reasoning Study Group (Hrsg.), *Spatial reasoning in the early years: Principles, assertions and speculations*. New York: Routledge.
- Just, M. A. & Carpenter, P. A. (1985). Cognitive Coordinate System: Accounts of Mental Rotation and Individual Differences in Spatial Ability. *Psychological Review*. Vol. 92:2.
- Maresch, G. (2018). *Wie und Was sieht das Gehirn. Vortrag bei der 39. Österreichischen Fortbildungstagung für Geometrie*. Strobl.
- Maresch, G. (in process). Die Grundroutinen des räumlichen Denkens und Handelns. In Zumbach, J., Maresch, G., Strahl, A. & Fleischer, T. (Hrsg.), *Neue Impulse in der Naturwissenschaftsdidaktik*. Münster: Waxmann.
- Schneider, J. & McGrew, K. (2012). The Cattell-Horn-Carroll model of intelligence. In Flanagan, D. & Harrison, P. (Hrsg.), *Contemporary intellectual assessment: Theories, tests, and issues*. 3rd ed. New York: Guilford Press.
- Sorby, S. A. (2009). Educational Research in Developing 3-D Spatial Skills for Engineering Students. *International Journal of Science Education* 31:3.
- Thurstone, L. L. (1938). *Primary mental abilities*. Chicago, Illinois: University of Chicago Press.