

Pascal Meyer¹
Annette Marohn¹

¹Universität Münster

maGic – mathematische Grundvorstellungen im Chemieunterricht

Ausgangslage und Zielsetzung

Mathematische Begriffe wie etwa die Dichte oder die Stoffmenge bilden einen festen Bestandteil des Chemieunterrichts. Allerdings lässt sich im Umgang mit mathematischen Begriffen häufig ein fehlendes, konzeptuelles Verständnis bei Lernenden beobachten (Hawkes, 2004). Dieser Herausforderung begegnet die Mathematikdidaktik seit einigen Jahren mithilfe von „Grundvorstellungen“. Hierbei handelt es sich um idealtypische, inhaltliche Interpretationen eines Begriffs, die Lernende entwickeln sollen (Griesel et al., 2019). Grundvorstellungen vermitteln zwischen mathematischen Begriffen und bekannten Kontexten; dadurch ermöglichen sie sowohl das inhaltliche Interpretieren mathematischer Begriffe, als auch das Mathematisieren von Sachsituationen (Prediger, 2010). Zu jedem mathematischen Begriff existieren *mehrere* Vorstellungen, die für ein konzeptuelles Verständnis miteinander vernetzt werden müssen (vom Hofe, 2003).

In der Literatur lassen sich erste Hinweise finden, dass diese Eigenschaft scheinbar ebenfalls für mathematisch-*chemische* Begriffe gilt (Xu & Clarke, 2012). Es ist daher naheliegend, das Grundvorstellungskonzept auch für das Lehren und Lernen „chemischer Mathematik“ zu nutzen. Diese Idee wird im Promotionsprojekt „maGic“ unter der folgenden Forschungsfrage verfolgt:

1. Welche Grundvorstellungen lassen sich zu mathematischen Konzepten im Chemieunterricht identifizieren?

Eine weitere Forschungsfrage ergibt sich aus der Besonderheit, dass sich chemische Fachinhalte auf drei unterschiedlichen Ebenen bewegen können: auf der Ebene der sicht- und wahrnehmbaren Phänomene, der nicht-sichtbaren Teilchenebene und der mathematisch-symbolischen Ebene (Johnstone, 2000). Diese Ebenen lassen sich nach Haas und Marohn (2022) schülerfreundlich als *Beobachtungsebene*, *Vorstellungsebene* und *Symbolebene* bezeichnen. Da die Grundvorstellungen zu mathematisch-chemischen Begriffen zwischen mathematischen und *chemischen* Inhalten vermitteln, ergibt sich demnach die zweite Forschungsfrage:

2. Inwiefern lassen sich die identifizierten Grundvorstellungen den Johnstone-Ebenen zuordnen?

Beide Fragen werden im Folgenden exemplarisch anhand des Dichtebegriffs beantwortet.

Methodisches Vorgehen

Die Identifikation der Grundvorstellungen orientiert sich an den fünf Schritten des Verfahrensrahmens von Salle und Clüver (2021). Kern des Verfahrens ist die *sachanalytische Untersuchung* des Begriffs und seiner Anwendungen unter Berücksichtigung empirischer Ergebnisse. Diese bildet die Basis für die *Formulierung von Grundvorstellungen*. Anschließend wird der *Bezugsrahmen* präzisiert und die *didaktische Relevanz* der hergeleiteten Grundvorstellungen bewertet.

Für die konkrete Sachanalyse des Dichtebegriffs wurden Anwendungen und Kontexte des Dichtebegriffs in Schulbüchern ($N = 7$) inhaltsanalytisch erfasst. Die dabei induktiv ermittelten 14 Kategorien wurden unter Berücksichtigung empirischer Ergebnisse zu Schülervorstellungen in vier „Klassen“ zusammengefasst. Auf dieser Basis wurden vier Grundvorstellungen formuliert und den Johnstone-Ebenen zugeordnet. Eine erste Bewertung der didaktischen Relevanz erfolgte im Rahmen einer in das Projekt eingegliederten Masterarbeit (Peitz, 2022). Dazu wurden in leitfadengestützten Interviews mit Schülerinnen und Schülern ($N = 5$, 8./9. Klasse) 17 Problemfragen gestellt, die auf bestimmte Grundvorstellungen abzielten.

Grundvorstellungen zum Dichtebegriff

Abbildung 1 stellt die vier hergeleiteten Grundvorstellungen zum Dichtebegriff und deren Zuordnung zu den Johnstone-Ebenen dar. Im Folgenden werden die einzelnen Grundvorstellungen näher erläutert.

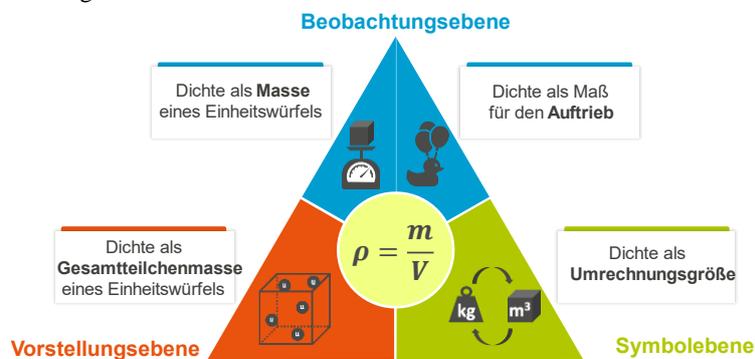


Abb. 1: Die Grundvorstellungen zur Dichte und deren Zuordnung zu den Johnstone-Ebenen.

Die erste Grundvorstellung wurde auf Basis aller Anwendungen und Kontexte des Dichtebegriffs formuliert, in denen das *Verhältnis* zwischen Masse und Volumen im Vordergrund steht. Dies ist beispielsweise bei der Identifikation und Kategorisierung von Stoffen der Fall, da dort der feste Wert des Verhältnisses als Charakteristikum eines Stoffes betrachtet wird. Aber auch bei der Dichtebestimmung sowie der proportionalen und antiproportionalen Beziehung zwischen Masse und Dichte bzw. Volumen und Dichte steht die Bestimmung und die Änderung des Verhältnisses im Fokus. Um diese Zusammenhänge zu veranschaulichen, wurde eine Grundvorstellung formuliert, die sich an schultypischen Experimenten mit sogenannten „Dichtewürfeln“ orientiert: „Dichte als Masse eines Einheitswürfels“. Die Dichte wird dabei als Masse einer festen Volumeneinheit (z.B. 1 cm^3) in Form eines Würfels interpretiert. Eine solche Konkretisierung ermöglicht es Lernenden unter anderem, die Größengleichung der Dichte anhand geeigneter Beispiele anschaulich herzuleiten. Ebenso lässt sich begründen, weshalb die Dichte als Stoffeigenschaft unabhängig vom Volumen eines Stoffes ist. Beispielsweise begründet ein Schüler im Rahmen der Interviews die identischen Dichten eines kleinen und großen Stück Eisens wie folgt:

„..., wenn man von jedem Eisen ein Kubikzentimeter oder was auch immer rausnehmen würde, würde man feststellen, dass es gleich schwer ist.“ (Peitz, 2022, S. 95)

Das Erklärungsmodell des Schülers (Dichte als Masse einer festen Volumeneinheit) entspricht der oben formulierten Grundvorstellung.

Die zweite Grundvorstellung basiert auf allen Kontexten, in denen es um den Auftrieb von Stoffen und Objekten in Fluiden geht, wie zum Beispiel das Schwimmen von Eis auf Wasser oder die Funktionsweise eines CO₂-Löschers. In diesen Kontexten dient die Dichtedifferenz zwischen Stoff und Fluid als Maß für den Auftrieb des Stoffes, weshalb die Bezeichnung „Dichte als Maß für den Auftrieb“ für die Grundvorstellung gewählt wurde. Bei dieser Vorstellung wird die Dichte inhaltlich als ein Instrument zur Erklärung und Vorhersage für das Auf-, Absteigen sowie das „Schweben“ von Stoffen in Fluiden gedeutet. In den Interviews deutete sich an, dass der Aggregatzustand des Fluids die Aktivierung der Grundvorstellung beeinflussen kann. Beispielsweise argumentierten zwei Lernende bei der Aufgabe „Holz schwimmt, Aluminium geht unter. Begründe!“ mit der Dichte, während sie anschließend die Frage „Warum fliegt ein mit Helium gefüllter Ballon?“ anhand der Masse beantworteten.

Die dritte Grundvorstellung wurde auf Basis aller Anwendungen und Kontexte formuliert, in denen Dichteunterschiede und -änderungen auf der Teilchenebene erläutert werden. Empirische Untersuchungen zeigen, dass Lernende dabei häufig mit der Teilchennähe argumentieren (Lichtfeldt & Peuckert, 1997). Mithilfe dieser Vorstellung lässt sich zwar beispielsweise die Dichteanomalie von Wasser, nicht aber die Dichteunterschiede der Edelgase erläutern. Daher wurde die Grundvorstellung „Dichte als Gesamtteilchenmasse eines Einheitswürfels“ formuliert, welche die Teilchenmasse stärker fokussiert und ein Pendant zur ersten Grundvorstellung darstellt. Bei dieser Vorstellung wird bei Teilchenanordnungen eine feste Volumeneinheit betrachtet, um relative Aussagen über Dichteunterschiede treffen zu können. Die intuitive Vorstellung der Teilchennähe können Lernende mithilfe der Grundvorstellung aufgreifen und erklären: Eine Änderung der Teilchennähe bedingt eine Änderung in der Gesamtteilchenmasse innerhalb der betrachteten Volumeneinheit.

Die vierte Grundvorstellung „Dichte als Umrechnungsgröße“ basiert auf allen Anwendungen und Kontexten, bei denen Massen und Volumina ineinander umgerechnet werden müssen. Die Dichte wird dabei als ein Operator interpretiert, der auf Größenwerte angewendet wird. Für die Anwendung dieser Grundvorstellung sind grundlegende Kenntnisse zur Umstellung von Größengleichungen hilfreich.

Ausblick

Die hergeleiteten Grundvorstellungen bieten zum einen Forschenden eine theoretische Grundlage für Untersuchungen zum Dichteverständnis; zum anderen können sie als didaktische Leitlinie zur Vermittlung des Dichtebegriffs dienen. Da konkrete Methoden zur Vermittlung von Grundvorstellungen in der Literatur ein Desiderat darstellen, werden im Projekt „ma_Gic“ Unterrichtsmaterialien zur Erarbeitung der Grundvorstellungen entwickelt und erforscht. Zentrale Prinzipien zur Gestaltung der Lernmaterialien bilden dabei die Explikation der Grundvorstellungen sowie eine transparente Zuordnung der Vorstellungen zu den Johnstone-Ebenen. Zusätzlich werden die Materialien mit einer Augmented-Reality-Website begleitet, um unter anderem die obligatorische Vernetzung der Grundvorstellungen und damit auch die Vernetzung der Johnstone-Ebenen zu unterstützen. Einen potentiellen Nutzen dieser Technologie sehen wir insbesondere darin, dass sich die Johnstone-Ebenen räumlich und zeitlich nah beieinander präsentieren lassen und gleichzeitig eine problematische Vermischung der Ebenen aufgrund der medialen Trennung verhindert wird.

Literatur

- Griesel, H., vom Hofe, R. & Blum, W. (2019). The Concept of Grundvorstellungen (Basic Ideas) in the Framework of Mathematical and Cognitive-Psychological Approaches in Mathematics Education. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 40(2), 123–133.
- Haas, J.-B. & Marohn, A. (2022). The teaching concept chem:LEVEL – promoting technical language on the basis of the Johnstone triangle. *CHEMKON*, 29(S1), 213–217.
- Hawkes, S. J. (2004). The Concept of Density. *Journal of Chemical Education*, 81(1), 14.
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry - Logical or psychological? *Chem. Educ. Res. Pract.*, 1(1), 9–15.
- Lichtfeldt, M. & Peuckert, J. (1997). Die Behandlung der Dichte im Unterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, 8(41), 22–26.
- Peitz, R. (2022). Grundvorstellungen im Chemieunterricht: Schülervorstellungen zum Dichte-Begriff [Masterarbeit]. Westfälische-Wilhelms-Universität Münster, Münster.
- Prediger, S. (2010). Aber wie sag ich es mathematisch? Empirische Befunde und Konsequenzen zum Lernen von Mathematik als Mittel zur Beschreibung von Welt. In D. Höttecke (Hrsg.), *Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. 30; Jahrestagung / Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. 2009. Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik. Jahrestagung in Dresden 2009* (S. 6–20). Lit Verl.
- Salle, A. & Clüver, T. (2021). Herleitung von Grundvorstellungen als normative Leitlinien – Beschreibung eines theoriebasierten Verfahrensrahmens. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 42, 533–580.
- vom Hofe, R. (2003). Grundbildung durch Grundvorstellungen. *Mathematik lehren*, 118, 4–8.
- Xu, L. & Clarke, D. (2012). Student Difficulties in Learning Density: A Distributed Cognition Perspective. *Research in Science Education*, 42(4), 769–789.