

Mathematische Begriffe im Chemieunterricht verständnisorientiert vermitteln

Ausgangslage und Zielsetzung

Mathematische Begriffe wie Dichte oder Stoffmenge sind für den Chemieunterricht von zentraler Bedeutung. Eine verständnisorientierte Vermittlung erweist sich jedoch als herausfordernd: Studien beschreiben eine Vielzahl alternativer Schülervorstellungen (Größ-Niehaus & Schanze, 2010) sowie ein mangelndes konzeptuelles Verständnis von Lernenden (Yeend, Loverude & Gonzalez, 2001). Lehrkräfte beklagen das Fehlen geeigneter Unterrichtskonzepte (Fiebig & Melle, 2001).

Das Design-Based-Research-Projekt „ma_Gic - mathematische Grundvorstellungen im Chemieunterricht“ begegnet diesen Herausforderungen mit einem neuen Ansatz: Dieser überträgt das mathematikdidaktische Konstrukt der *Grundvorstellungen* auf mathematische Begriffe im Chemieunterricht und verknüpft es mit dem Johnstone-Dreieck.

Grundvorstellungen sind als anschauliche Repräsentationen eines mathematischen Begriffs zu verstehen, die den Begriff in bekannten Kontexten interpretieren und damit Sinn stiften. Dadurch unterstützen sie Lernende beim Anwenden und mentalen Operieren mathematischer Begriffe (vom Hofe, 1996). Zu einem Begriff existieren stets *mehrere* Grundvorstellungen, die für ein umfassendes Verständnis des Begriffs miteinander vernetzt werden müssen (vom Hofe, 2003). Im Gegensatz zu Schülervorstellungen sind Grundvorstellungen fachlich anerkannt und haben einen normativen Charakter (Griesel, vom Hofe & Blum, 2019).

Grundvorstellungen zum Dichtebegriff

Die Übertragung des Grundvorstellungskonzepts auf die chemische Mathematik erfolgt im Projekt ma_Gic exemplarisch anhand des Dichtebegriffs. Auf Basis einer Literatur- und einer Schulbuchanalyse wurden insgesamt vier Grundvorstellungen zur Dichte hergeleitet und den Johnstone-Ebenen zugeordnet (Meyer & Marohn, 2024). Makroskopische Ebene: Dichte als Masse eines Einheitswürfels (Würfelvorstellung); Dichte als Maß für den Auftrieb (Auftriebsvorstellung). Submikroskopische Ebene: Dichte als Gesamtteilchenmasse eines Einheitswürfels (Teilchenvorstellung). Symbol-Ebene: Dichte als Umrechnungsgröße (Umrechnungsvorstellung).

Im Folgenden wird der Fokus auf die Vermittlung der Grundvorstellungen gelegt.

Forschungsfragen

1. In welcher Weise lassen sich Materialien zur Entwicklung der identifizierten Grundvorstellungen gestalten?
2. Inwieweit initiieren die Materialien Vorstellungsentwicklungen von individuellen Vorstellungen hin zu den normativ formulierten Grundvorstellungen?

Methodisches Vorgehen

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wurden Lernmaterialien im Rahmen des Design-Based-Research-Ansatzes entwickelt und in fünf Erprobungen (N = 103) iterativ optimiert. Die Gestaltung der Lernmaterialien orientierte sich an 6 Design-Prinzipien (u.a.

Genetisches Lernen, Orientierung an Schülervorstellungen) sowie der Schulbuchreihe „mathewerkstatt“ (Barzel, Prediger, Leuders & Hußmann, 2011).

Zur Beantwortung der zweiten Forschungsfrage wurde ein Ausschnitt der entwickelten Lernmaterialien (Würfel- und Auftriebsvorstellung) mit einer 7. Klasse eines Gymnasiums (N = 26) innerhalb von 150 min erprobt. Als Datengrundlage dienten Videografien und Artefakte der Lernenden sowie ein Test im Prä-, Post-, Follow-Up-Design. Der Test bestand aus 5 offenen Items, um individuelle Vorstellungen der Lernenden erfassen zu können. Die Antworten wurden induktiv codiert, hinsichtlich ihrer Übereinstimmung mit den Grundvorstellungen bewertet und statistisch mittels Friedman-Test und paarweisen Conover-Post-Hoc-Tests (Conover & Iman, 1979) mit Bonferroni-Korrektur analysiert.

Ergebnisse

Entwickelte Lernmaterialien

Zur Vermittlung der Grundvorstellungen zur Dichte wurden 29 Arbeitsblätter, 2 Experimente und eine begleitende Website (u.a. mit 7 Simulationen) entwickelt. Die Unterrichtseinheit zur Dichte gliedert sich in 6 Phasen. Die erste Phase *Fragen* ist eine vorstellungsübergreifende Phase, in der die Lernenden anhand eines Bildes Fragen zu verschiedenen Situationen auf einem Jahrmarkt formulieren (Abb. 1). Jede Situation zielt auf eine bestimmte Grundvorstellung ab. Nach der Fokussierung auf eine Situation durch die Lehrkraft beginnt die Erarbeitung der entsprechenden Grundvorstellung in 4 Unterrichtsphasen, die exemplarisch anhand der Würfelvorstellung erläutert werden.



Abb. 1: Jahrmarktbild mit verschiedenen Situationen zu den vier Grundvorstellungen.

In der Phase *Erkunden* stoßen die Lernenden auf Probleme, entwickeln eigene Lösungsideen und erproben diese. Konkret entwickeln Lernende bei der Würfelvorstellung zur Problemfrage „Wie kann man die Masse von Stoffen verhältnismäßig vergleichen?“ anhand eines Süßigkeiten-Experiments und einer Aufgabe (Abb. 2) die Lösungsidee „Man muss gleiche Volumina von Stoffen vergleichen“, die im Kern der Würfelvorstellung entspricht.

b) Unten siehst du Objekte aus verschiedenen Stoffen. Welcher ist der „schwerste“ Stoff? Begründe.
Hinweis: Deine Erkenntnisse aus Aufgabe a) können dir helfen.

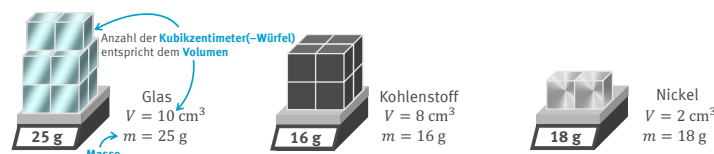


Abb. 2: Aufgabe zur Erkundung der Würfelvorstellung. Je nach verwendeter Lösungsstrategie wird hier bereits implizit die Formel zur Berechnung der Dichte entdeckt.

Dieses Vorgehen entspricht dem genetischen Lernen (Leuders, Hußmann, Barzel & Prediger, 2011), das als eines der sechs Design-Prinzipien leitend für die Gestaltung der Lernmaterialien war. In der Phase *Erschließen* wird die Lösungsidee im Plenum reflektiert und mithilfe eines Erklärvideos und begleitenden Aufgaben mit dem Dichtebegriff verknüpft. In der Phase *Sichern* werden die Grundvorstellung und weitere zentrale Erkenntnisse auf einem Merkzettel festgehalten und die formulierten Fragen zur Situation auf dem Jahrmarktbild mithilfe der Würfelvorstellung beantwortet. Abhängig vom Zeitrahmen kann die Vorstellung in der Phase *Vertiefen* durch weiterführende Aufgaben gefestigt werden. Alternativ wird eine zweite Jahrmarktsituation betrachtet und eine weitere Grundvorstellung erarbeitet. Die abschließende Phase *Vernetzen* bietet die Möglichkeit, die erarbeiteten Grundvorstellungen anhand von Aufgaben zu verbinden, zu deren Lösung mehrere Grundvorstellungen kombiniert werden müssen.

Testergebnisse

Hinsichtlich der Gesamtpunktzahlen zeigte der Friedman-Test einen signifikanten Unterschied zwischen den drei Messzeitpunkten ($\chi^2(2) = 27.40, p < .001$). Die anschließenden Post-Hoc-Tests zeigten, dass die Unterschiede zwischen Prä- ($Mdn = 1$) und Post-Test ($Mdn = 5.25$) ($t = 7.65, p_{angepasst} < .001$) sowie zwischen Prä- und Follow-Up-Test ($Mdn = 3$) ($t = 5.22, p_{angepasst} < .001$) höchst signifikant waren. Es konnte zudem eine Abnahme der Gesamtpunktzahl von Post- zu Follow-Up-Test festgestellt werden; dieser Unterschied war allerdings nicht signifikant ($t = 2.43, p_{angepasst} = .056$).

Einen qualitativen Einblick in die Vorstellungsentwicklungen bieten die folgenden Beispiele:

- *Würfelvorstellung*: Auf die Frage, inwieweit sich die Dichte eines kleinen und großen Stück Eisens unterscheidet, antwortete S18 im Prä-Test mit „Das große Stück hat eine größere Dichte, da es schwerer ist“ und im Follow-Up-Test mit „Die Dichte bleibt gleich, da sie das Gewicht pro cm^3 angibt“.
- *Auftriebsvorstellung*: Das Schwimmen eines Holz- bzw. Gummiwürfels begründete S20 im Prä-Test mit „Da Holz ein ziemlich leichter Stoff ist und deshalb gut schwimmen kann“ und im Follow-Up-Test mit „Da die Dichte von Gummi geringer ist als die von Wasser“.

Diskussion und Ausblick

Aufgrund des signifikanten Anstiegs der Gesamtpunktzahlen zwischen Prä- und Post- sowie Prä- und Follow-Up-Test und der nicht signifikanten Leistungsabnahme zwischen Post- und Follow-Up-Test kann geschlossen werden, dass die Intervention zu einem nachhaltigen Lernzuwachs führt. Da die Punkte in Bezug auf die Übereinstimmung mit den Grundvorstellungen vergeben wurden, kann zudem auf eine nachhaltige Vorstellungsentwicklung geschlossen werden. Diese Vorstellungsentwicklung wird durch die qualitativen Daten bestätigt.

Die Testergebnisse bilden ein erstes Indiz für die Wirksamkeit der entwickelten Lernmaterialien und deren Eignung zur Entwicklung der Grundvorstellungen. Im weiteren Projektverlauf werden die Testergebnisse mithilfe der Artefakte und Videografien der Lernenden trianguliert, um mögliche Erklärungsansätze für individuelle Vorstellungsentwicklungen ableiten zu können. Darüber hinaus soll mithilfe der Videos die Auswirkung spezifischer Designelemente auf die Vorstellungsentwicklung rekonstruiert werden.

Literatur

- Barzel, B., Prediger, S., Leuders, T., & Hußmann, S. (2011). Kontexte und Kernprozesse – Ein theoriegeleitetes und praxiserprobtes Schulbuchkonzept. In Beiträge zum Mathematikunterricht (S. 71–74).
- Conover, W., & Iman, R. (1979). Multiple-comparisons procedures. Informal report (S. 1–14). Los Alamos Scientific Lab
- Fiebig, S., & Melle, I. (2001). "Problemthemen" des Chemieunterrichts in der Sekundarstufe I - gegenwärtige Situation und fachdidaktische Konsequenzen. CHEMKON, 8(4), 199–202.
- Griesel, H., vom Hofe, R., & Blum, W. (2019). Das Konzept der Grundvorstellungen im Rahmen der mathematischen und kognitionspsychologischen Begrifflichkeit in der Mathematikdidaktik. Journal für Mathematik-Didaktik, 40(2), 123–133.
- Größ-Niehaus, T., & Schanze, S. (2010). Lernervorstellungen zum Dichte-Begriff. CHEMKON, 17(2), 71–74.
- Leuders, T., Hußmann, S., Barzel, B., & Prediger, S. (2011). „Das macht Sinn!“ Sinnstiftung mit Kontexten und Kernideen. In Praxis der Mathematik in der Schule (Bd. 53, Nummer 37, S. 2–9).
- Meyer, P., & Marohn, A. (2024). Mathematical Grundvorstellungen in Chemistry Education: An Approach to Understanding Chemical Mathematics Using the Example of the Concept of Density. Journal of Chemical Education, XXXX(XXX), XXX–XXX.
- vom Hofe, R. (1996). Grundvorstellungen—Basis für inhaltliches Denken. Mathematik lehren, 78, 4–8.
- vom Hofe, R. (2003). Grundbildung durch Grundvorstellungen. Mathematik lehren, 118, 4–8.
- Yeend, R. E., Loverude, M. E., & Gonzalez, B. L. (2001). Student understanding of density: A cross-age investigation. Physics Education Research Conference Proceedings.