

Kristallstrukturen - Ein neuer Zugang zum Teilchenmodell für die Sekundarstufe I

Einleitung

Eine der häufigsten Schwierigkeiten beim Unterricht über das Teilchenmodell ist, dass Schüler:innen dazu tendieren, die Eigenschaften makroskopischer Gegenstände auf Atome und Moleküle zu übertragen (Albanese & Vicentini, 1997). Zum Beispiel stellen sie sich vor, dass die Größe der Atome oder Moleküle sich während eines Phasenübergangs verändert (Lee et al., 1993). Chi et al. (2012) argumentieren, dass diese Vorstellung aus einer falschen ontologischen Kategorisierung des Phänomens resultiert. Schüler:innen konstruieren einen *direkt-kausalen* Zusammenhang zwischen makroskopischer Ebene und Teilchenebene, da ihnen das *emergente* Verhalten der Materie aus ihrer Lebenswelt nicht bekannt ist. Emergente Phänomene sind jedoch im Teilchenmodell allgegenwärtig und beschreiben das Zustandekommen von Eigenschaften eines Gegenstands (z.B. Ausdehnung) aus dem kollektiven Verhalten seiner Bestandteile (z.B. schnellere Bewegung).

In Anbetracht dieser Lernschwierigkeiten wurde in einem Dissertationsprojekt der Frage nachgegangen, wie das Verständnis emergenter Phänomene im Kontext des Teilchenmodells bei Schüler:innen verbessert werden kann. Dazu wurde im methodologischen Rahmenkonzept des Design-Based Research (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2020) ein Lehr-Lern-Arrangement (LLA) entwickelt. Das LLA basiert auf vier theoretisch fundierten Designprinzipien: 1) Kristallstrukturen als Kontext zur Einführung des Teilchenmodells, 2) Verwendung des Begriffs „Baustein“ statt „Teilchen“, 3) Betonung der emergenten Eigenschaften des Teilchenmodells und 4) Verwendung typografischer Darstellungen des Teilchenmodells (Budimaier & Hopf, 2023). Die Evaluierung der Designprinzipien erfolgte in Interviews nach der Methode der Akzeptanzbefragung (Jung, 1992). Zum Abschluss des Dissertationsprojekts sollte das LLA noch in einigen Klassen getestet werden, um die Verwendbarkeit im regulären Unterricht sicherzustellen. Daraus konnte folgende Forschungsfrage abgeleitet werden: *Kann das, auf empirisch evaluierten Designprinzipien basierte, LLA die Verwendung des Teilchenmodells bei Schüler:innen fördern?*

Methoden

Basierend auf den bereits beschriebenen Designprinzipien sowie insgesamt sieben *Key Ideas* zum Teilchenmodell, wurden Unterrichtsmaterialien für den Einsatz in der Klasse erstellt. Dazu gehörten Arbeitsblätter, Präsentationen, Experimente sowie 3D-gedruckte Modelle.¹ Ebenso wurde ein Fragebogen, bestehend aus geschlossenen und offenen Fragen zum Teilchenmodell, konzipiert und pilotiert. Die Items entstammen einerseits den in den Vorstudien verwendeten Interviewleitfäden sowie einer deutschen Übersetzung des *Chemical Concepts Inventory* (Barbera, 2013). Eine kurze Version des Fragebogens mit sieben Fragen wurde für den Pretest zusammengestellt, wogegen im Posttest alle elf Fragen zum Einsatz kamen. Die vier zusätzlichen Fragen im Posttest bezogen sich direkt auf die Inhalte des LLA und waren daher für den Pretest nicht geeignet.

¹ Sämtliche Unterrichtsmaterialien können auf physikdidaktik.at im Bereich „Unterrichtskonzeptionen“ unter der Bezeichnung „Die Bausteine der Materie“ abgerufen werden.

Für die Evaluierung des LLA konnten mehrere Lehrkräfte gewonnen werden, welche mit insgesamt sechs Klassen an der Untersuchung teilnahmen. Daraus ergab sich eine Stichprobe von 130 Schüler:innen. Nach der Durchführung des Pretests unterrichteten die Lehrpersonen in vier bis fünf Stunden die vorgegebenen Inhalte, wofür ein detaillierter Leitfaden zur Verfügung stand. Nach Abschluss der Intervention wurde der Posttest durchgeführt und alle Lehrpersonen zu ihren Erfahrungen mit dem LLA im Zuge eines Interviews befragt.

Die Auswertung der offenen Fragen erfolgte zuerst mittels evaluativer qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz & Rädiker, 2022). Dabei wurden die Antworten mit einem dreistufigen Kategoriensystem codiert: Kontinuumsmodell (0), Hybridmodell (1) und Teilchenmodell (2). Die Kategorien sind angelehnt an jene von Johnson (2006) und beschreiben mentale Modelle, die Schüler:innen zum Aufbau der Materie haben können. Zur weiteren Verwendung im Rahmen quantitativer Analysen wurde jedem Modell ein Zahlenwert zugewiesen, welcher oben in Klammern angegeben ist.

Da die vorhandenen Daten eine Ordinalskala bilden, wurden im Weiteren vorwiegend nicht-parametrische Tests durchgeführt. Mittels Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test konnten dabei Effektstärken in Form von Rangkorrelationen ermittelt werden. Darüber hinaus konnten die im Pre- und Posttest jeweils erreichten Gesamtpunkte der Schüler:innen mittels t-Test verglichen werden.

Ergebnisse

Ziel der Intervention war es, die Verwendung des Teilchenmodells durch die Schüler:innen zu steigern. Wie in Abbildung 1 zu sehen, haben im Posttest deutlich mehr Schüler:innen im Teilchenmodell argumentiert. Auch wenn viele Antworten sich vom Kontinuumsmodell zum Teilchenmodell verschoben haben, blieb das Kontinuumsmodell auch im Posttest vorherrschend. Positiv ist jedoch anzumerken, dass Fragen im Kontext von

Kristallstrukturen überwiegend im Teilchenmodell beantwortet wurden. Hinsichtlich der Übertragung von makroskopischen Eigenschaften auf Teilchen konnten abhängig von den Phasen unterschiedliche Ergebnisse festgestellt werden. Im Zusammenhang mit Gasen verwendete die Mehrheit der Schüler:innen das Teilchenmodell korrekt, wogegen im Zusammenhang mit Festkörpern das Hybridmodell vorherrschend war. Fragen, bei denen Phasenübergänge erklärt werden mussten, wurden jedoch fast ausschließlich im Kontinuumsmodell beantwortet.

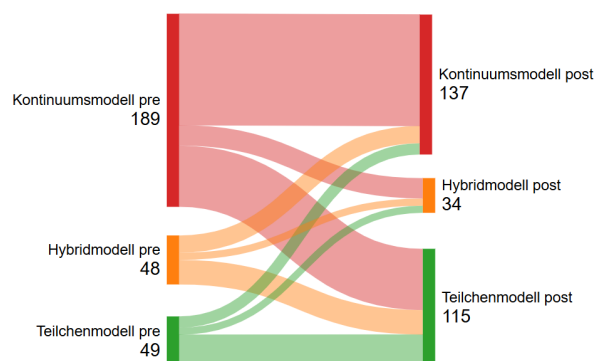


Abb. 1: Sankey-Diagramm der Antworten vom Pre- zum Posttest (erstellt mit sankeymatic.com)

Beim Vergleich der Gesamtpunktezahlen zwischen Pre- und Posttest zeigt sich ein signifikanter Unterschied mit einer mittleren Effektstärke. Wie in Tabelle 1 ersichtlich, gibt

es jedoch starke Schwankungen zwischen den einzelnen Klassen, wobei fünf von sechs Klassen das Teilchenmodell im Posttest signifikant häufiger verwendet haben.

Klasse	Lehrperson	t	df	p	Cohen's d
1	A	-2.053	22	0.026	-0.428
2	A	-3.694	21	< 0.001	-0.787
3	B	-4.174	24	< 0.001	-0.835
4	B	-6.807	21	< 0.001	-1.451
5	C	0.149	19	0.558	0.033
6	D	-1.856	17	0.040	-0.437
alle		-7.032	129	< 0.001	-0.617

Tab. 1. Ergebnisse des t-Tests nach Klassen

Vergleicht man Pre- und Posttest auf Item-Ebene miteinander, so zeigt sich der stärkste Effekt im Kontext der Key Idea „Zwischen den Bausteinen ist leerer Raum“. Hier haben im Posttest signifikant mehr Schüler:innen das Teilchenmodell verwendet ($M = 1,53$; $SD = 0,76$) als im Pretest ($M = 0,66$; $SD = 0,87$); $z = -5,36$; $p < 0,001$. Die Effektstärke liegt bei $r_B = -0,89$, was einen großen Effekt darstellt (Cohen, 1988). Im Zusammenhang mit der Idee, dass die Temperatur mit der Bewegung der Bausteine zusammenhängt, konnten ebenfalls signifikante Effekte zwischen Pretest ($M = 0,46$; $SD = 0,72$) und Posttest ($M = 0,79$; $SD = 0,92$); $z = -3,17$, $p < 0,001$ festgestellt werden. Hier liegt die Effektstärke bei $r_B = -0,49$, was einem mittleren bis großen Effekt entspricht. Wie bereits beschrieben, kam die Übertragung von makroskopischen Eigenschaften auf Teilchen am wenigsten bei Gasen vor. Diesbezüglich gab es ebenfalls eine signifikante Verbesserung von Pretest ($M = 0,75$; $SD = 0,44$) zum Posttest ($M = 0,61$; $SD = 0,49$); $z = -2,11$; $p = 0,008$ mit einer mittleren Effektstärke von $r_B = -0,35$ (Budimaier & Hopf, 2024).

Diskussion

Ziel der Studie war es, die Anwendbarkeit des LLA zum Teilchenmodell im Unterricht im Rahmen einer Machbarkeitsstudie zu untersuchen. Limitationen ergeben sich durch die mangelnde Kontrollgruppe in der Interventionsstudie sowie die eingeschränkte Validität des Fragebogens. Zudem konnte nur eine limitierte Stichprobe von 130 Schüler:innen untersucht werden. Die Machbarkeitsstudie hat jedoch gezeigt, dass das LLA grundsätzlich von Lehrpersonen angenommen wird, da alle teilnehmenden Lehrkräfte angaben, es zumindest teilweise wieder im Unterricht verwenden zu wollen. Darüber hinaus konnten signifikante Verbesserungen in der Anwendung des Teilchenmodells durch die Schüler:innen festgestellt werden. Diese waren insbesondere im Zusammenhang mit der Vorstellung des leeren Raumes zwischen den Teilchen sowie der Verbindung von Temperatur und Teilchenbewegung festzustellen. Ebenfalls wurden Kristallstrukturen als Kontext für die Einführung des Teilchenmodells gut von den Schüler:innen angenommen. Schwierigkeiten ergaben sich jedoch noch hinsichtlich der Übertragung makroskopischer Eigenschaften auf Teilchen bei Festkörpern sowie generell bei der Beschreibung von Phasenübergängen. Warum Schüler:innen hier noch Lernschwierigkeiten zeigen, konnte im Rahmen des Dissertationsprojekts nicht geklärt werden und könnte Ausgangspunkt weiterer Forschungsprojekte sein.

Literatur

- Albanese, A. & Vicentini, M. (1997). Why do we believe that an atom is colourless? Reflections about the teaching of the particle model. *Science & Education*, 6(3), 251–261. <https://doi.org/10.1023/A:1017933500475>
- Barbera, J. (2013). A psychometric analysis of the Chemical Concepts Inventory. *Journal of Chemical Education*, 90(5), 546–553. <https://doi.org/10.1021/ed3004353>
- Budimaier, F. & Hopf, M. (2023). Development of a new teaching-learning sequence on the particulate nature of matter using crystal structures. *Physical Review Physics Education Research*, 19(2). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.020169>
- Budimaier, F. & Hopf, M. (2024). Evaluation of a new teaching-learning sequence on the particulate nature of matter using crystal structures. *Physical Review Physics Education Research*, 20(2), 020104. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.020104>
- Chi, M. T. H., Roscoe, R. D., Slotta, J. D., Roy, M. & Chase, C. C. (2012). Misconceived causal explanations for emergent processes. *Cognitive science*, 36(1), 1–61. <https://doi.org/10.1111/j.1551-6709.2011.01207.x>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Taylor and Francis. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=1192162>
- Haagen-Schützenhöfer, C. & Hopf, M. (2020). Design-based research as a model for systematic curriculum development: The example of a curriculum for introductory optics. *Physical Review Physics Education Research*, 16. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020152>
- Johnson, P. (2006). The development of students' understanding of the particle theory and its role in their conception of macroscopic phenomena. In H. Fischler (Hrsg.), *Die Teilchenstruktur der Materie im Physik- und Chemieunterricht* (S. 109–144). Logos-Verl.
- Jung, W. (1992). Probing acceptance: A technique for investigating learning difficulties. In R. Duit, F. Goldberg, & N. Hans (Hrsg.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (S. 278–295). Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (5. Auflage). Beltz Verlagsgruppe Preselect.media GmbH.
- Lee, O., Eichinger, D. C., Anderson, C. W., Berkheimer, G. D. & Blakeslee, T. D. (1993). Changing middle school students' conceptions of matter and molecules. *Journal of research in science teaching*, 30(3), 249–270. <https://doi.org/10.1002/tea.3660300304>