

Emergente Phänomene im Physikunterricht am Beispiel des Teilchenmodells

Theoretischer Hintergrund

Schüler:innen haben meist große Schwierigkeiten emergente Phänomene, bei denen erst die kollektive Interaktion der Bestandteile die Eigenschaft des Ganzen ergibt, zu verstehen (Chi, 2005). Häufig tendieren sie dazu die Eigenschaften makroskopischer Gegenstände auf Atome und Moleküle zu übertragen (Albanese et al., 1997). Beispielsweise stellen Schüler:innen sich vor, dass die thermische Ausdehnung eines Stoffes durch eine Ausdehnung der Atome zustande kommt (Griffiths & Preston, 1992) oder dass sich die Atome in Festkörpern gar nicht bewegen (Boz, 2006). Chi et al. (2012) zufolge kommt diese Vorstellung dadurch zustande, dass Schüler:innen ein *direkt-kausales Schema* verwenden, um emergente Vorgänge in der Physik zu erklären. Direkt-kausale Zusammenhänge treten im Alltag häufig auf und sind den Lernenden daher vertraut, wogegen ihnen emergente Phänomene in der Regel unbekannt sind. Die Basis für das Verständnis des Teilchenmodells liegt daher im Verständnis einer *emergenten Ontologie*, deren Anwendung aber erst erlernt werden muss (Henderson et al., 2017).

Fragestellung

In Anbetracht der soeben skizzierten Lernschwierigkeiten wird in einem Design-Based Research (DBR) Projekt ein Lehr-Lern-Arrangement (LLA) zum Teilchenmodell entwickelt, das Vorstellungen von Schüler:innen gezielt berücksichtigt. Entsprechend der Zielvorgaben von DBR (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2020) geht es auch um den Gewinn theoretischer Erkenntnisse zum Lehren und Lernen des Teilchenmodells. Daraus abgeleitet ergeben sich folgende Forschungsfragen:

FF1 Welche Designprinzipien verbessern das Verständnis emergenter Phänomene im Kontext des Teilchenmodells?

FF2 Wie können themenspezifische Designprinzipien zum Teilchenmodell in der Entwicklung des Lehr-Lern-Arrangements angewandt werden?

Methoden

Ausgangspunkt des DBR Projekts waren bereits beschriebene Lernschwierigkeiten von Schüler:innen im Kontext des Teilchenmodells. Daher wurden in einem ersten Schritt fachliche und fachdidaktische Aspekte des Themas recherchiert und daran anschließend zentrale Konzeptideen im Rahmen einer

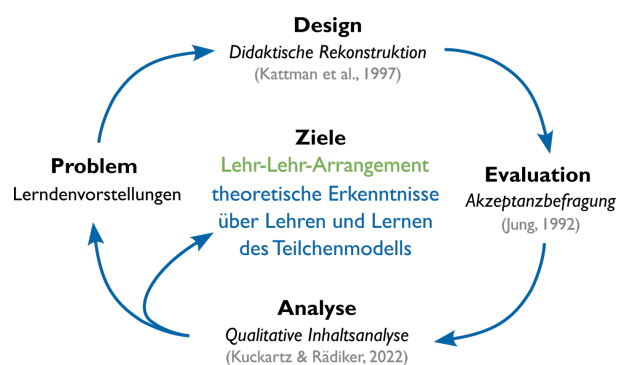


Abb. 1: Ablauf des DBR Projekts

didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al., 1997) formuliert. Zudem konnten folgenden Designprinzipien aus der Literaturrecherche abgeleitet werden: Verwendung von Experimenten für die Einführung des Teilchenmodells (Harrison & Treagust, 2006), Kristallstrukturen als Kontext für die Einführung des Teilchenmodells (Franzbecker & Quast, 1975), Verwendung des Begriffs „Bausteine“ anstatt „Teilchen“ (Pfundt, 1981), Verwendung typografischer Darstellungen (Wiener et al., 2017) und Betonung der emergenten Eigenschaften des Teilchenmodells (Chi et al., 2012). Die Evaluierung der zentralen Konzeptideen erfolgte mittels Akzeptanzbefragungen (Jung, 1992). Diese Methode kombiniert ein Micro-Teaching mit einem Interview und besteht aus folgenden vier Schritten: 1) Erklärung der zentralen Konzeptidee durch den Interviewenden, 2) Bewertung der Akzeptanz der zentralen Konzeptidee durch die Schüler:innen, 3) Paraphrase der Erklärung und 4) Lösen mindestens einer Aufgabe zur zentralen Konzeptidee. Diese vier Schritte wurden für alle zentralen Konzeptideen durchgeführt. Die Interviewdaten wurden mit evaluativer qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz & Rädiker, 2022) ausgewertet. Dabei wurden die Antworten der Schüler:innen nach einem dreistufigen System kodiert. Für korrekte Antworten wurden zwei Punkte vergeben, für teilweise korrekte Antworten ein Punkt und für falsche Antworten null Punkte. Die Ergebnisse der Kodierung wurden in einer Matrix zusammengestellt, um weitere Schlüsse zu einzelnen Items zu ermöglichen. Darüber hinaus konnte aus den Mittelwerten der Kodierungen die Performanz der Schüler:innen ermittelt werden. Die Ergebnisse der Analyse wurden dem Re-Design der zentralen Konzeptideen und des Interviewleitfadens im nächsten Zyklus grundgelegt.

Ergebnisse

Tabelle 1 gibt einen Überblick zu den gewählten Stichproben in den aufeinanderfolgenden Zyklen des DBR Projekts. Die letzte Spalte zeigt die Performanz, den durchschnittlichen Wert aller in diesem Zyklus vorgenommenen Kodierungen. Der dabei zu erreichende Maximalwert ist 2, was bedeuten würde, dass alle Schüler:innen jede Frage im Interview korrekt beantwortet hätten.

Zyklus	N	Schulstufe	Dauer der Interviews	Performanz
1	20	6. und 10.	15 - 25 min	1,38
2	18	8.	15 - 25 min	1,70
3	12	8.	35 - 40 min	1,67
4	10	8.	35 - 45 min	1,79

Tab. 1: Daten zu Stichprobe und Performanz in den einzelnen Zyklen des DBR Projekts

Im ersten Zyklus wurde vor allem dem Designprinzip „Verwendung von Experimenten für die Einführung des Teilchenmodells“ Raum gegeben. Dabei hat sich jedoch gezeigt, dass Schüler:innen zum Teil große Schwierigkeiten hatten Zusammenhänge zwischen makroskopischer und submikroskopischer Ebene in Experimenten zu erkennen (Budimaier & Hopf, 2022). Daher wurde ab dem zweiten Zyklus ein anderer Zugang, nämlich Kristallstrukturen, als Kontext für die Einführung des Teilchenmodells verwendet. Die Tatsache, dass zwischen den ersten beiden Zyklen der größte Sprung in der Performanz zu erkennen ist legt nahe, dass dieser Zugang besser geeignet ist, um Schüler:innen Zusammenhänge zwischen submikroskopischer und die makroskopischer Ebene zu vermitteln. Aufbauend auf dieser Erkenntnis konnte in den weiteren Zyklen des Projekts das Verständnis für emergente Vorgänge noch verbessert werden. Dies ist vor allem daran zu erkennen, dass Schüler:innen im vierten Zyklus kaum noch mit einem direkt-kausalen Schema

argumentieren. Typografische Darstellungen des Teilchenmodell wurden bereits im ersten Zyklus von mehr als der Hälfte der Schüler:innen gegenüber kugelförmigen und kontinuierlichen Darstellungen bevorzugt (Budimaier & Hopf, 2023). Dabei werden Atome und Moleküle anstatt als kleine Kugeln durch ihre Elementsymbole oder chemische Summenformel repräsentiert. Im LLA Atome und Moleküle nicht als Teilchen sondern als „Bausteine“ bezeichnet, da der Begriff Teilchen mehrdeutig ist. Die Ergebnisse der Studie zeigen einen positiven Zusammenhang zwischen höherer Performanz und häufigerer Verwendung des Begriffs „Bausteine“ an Stelle von „Teilchen“. Ebenso steigt die Performanz, wenn weniger Schüler:innen ein direkt-kausales Schema verwenden (siehe Abb. 2).

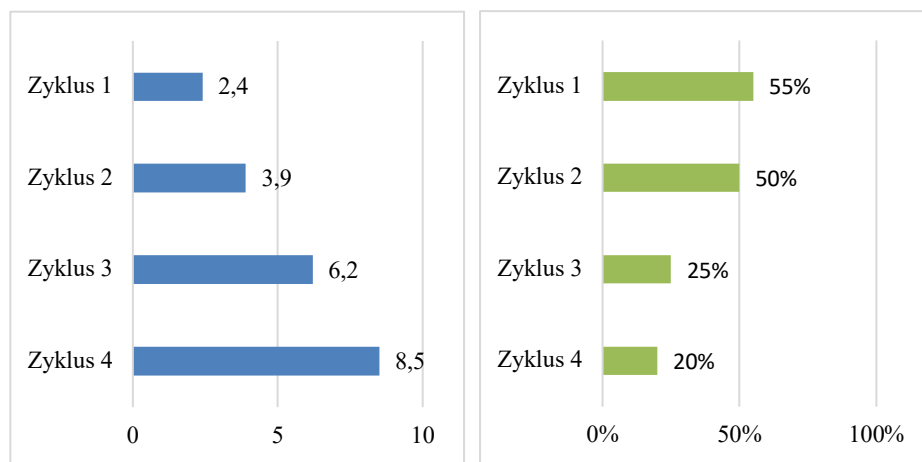


Abb. 2: Durchschnittliche Anzahl der Nennungen des Begriffs „Bausteine“ pro Schüler:in (links) und Prozentsatz der Schüler:innen, die ein direkt-kausales Schema anwenden (rechts) in den vier Zyklen des DBR Projekts

Diskussion und Ausblick

Im beschriebenen DBR Projekt wurde ein LLA zum Teilchenmodell entwickelt, mit insgesamt 60 Schüler:innen evaluiert und qualitativ ausgewertet. Die Aussagekraft der Schlussfolgerungen ist durch die eingeschränkte Stichprobe beschränkt. Vier der fünf aus der Literatur abgeleiteten Designprinzipien haben sich als erfolgversprechend für die Gestaltung des LLA erwiesen. Schüler:innen hatten Schwierigkeiten Zusammenhänge zwischen submikroskopischer und makroskopischer Ebene durch Experimente zu erkennen. Kristallstrukturen trugen jedoch in Zusammenhang mit typografischen Darstellungen, Emergenz und dem Begriff „Bausteine“ dazu bei das Verständnis dieser Zusammenhänge zu fördern.

Die Struktur des LLA folgt sieben zentralen Konzeptideen, welche schrittweise implementiert und evaluiert wurden. Basierend auf den zentralen Konzeptideen und den Designprinzipien werden in einem weiteren Schritt Unterrichtsmaterialien erstellt und in mehreren Schulklassen getestet. Ziel ist es die Übersetzung der Ergebnisse der Interviewstudie in ein reales Unterrichts-Setting im Sinne einer Machbarkeitsstudie zu überprüfen. Das Verständnis der zentralen Konzeptideen wird durch Fragebögen im Pre-Post Format erhoben. Des Weiteren sollten Schwierigkeiten bei der Umsetzung im Unterricht durch Interviews mit den unterrichtenden Lehrkräften erhoben werden.

Literaturverzeichnis

- Albanese, A., Vicentini, M., 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>
- Boz, Y. (2006). Turkish pupils' conceptions of the particulate nature of matter. *Journal of Science Education and Technology*, 15(2), 203. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9003-9>
- Budimaier, F. & Hopf, M. (2022). Students' Ideas on Common Experiments About the Particulate Nature of Matter. *Journal of Baltic Science Education*, 21(3), 381–397. <https://doi.org/10.33225/jbse/jbse/22.21.381>
- Budimaier, F. & Hopf, M. (2023). Alternative Darstellungsformen des Teilchenmodells. In C. Fridrich, H. Knecht, P. Riegler & E. Süss-Stepancik (Hrsg.), 15. *Forschungsperspektiven*.
- Chi, M. T. H. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161–199. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1402_1
- 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>
- Franzbecker, W. & Quast, U. (1975). Entwicklung von Hypothesen und Modellen zum Aufbau der Materie im Physikunterricht der Sekundarstufe I. *Der Physikunterricht*, 9(4), 43–50.
- Griffiths, A. K. & Preston, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of research in science teaching*, 29(6), 611–628. <https://doi.org/10.1002/tea.3660290609>
- Harrison, A. G. & Treagust, D. F. (2006). Particles and matter: Problems in learning about the submicroscopic world. In H. Fischler (Hrsg.), 50. *Die Teilchenstruktur der Materie im Physik- und Chemieunterricht* (S. 53–76). Logos-Verl.
- Henderson, B., Langbeheim, E. & Chi, M. (2017). Addressing robust misconceptions through the ontological distinction between sequential and emergent processes. In T. Amin G. & O. Levrini (Hrsg.), *Converging perspectives on conceptual change: Mapping an emerging paradigm in the learning sciences*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315467139-5>
- 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: Proceedings of an international workshop held at the University of Bremen, March 4 - 8, 1991* (S. 278–295). Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengiesser, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung, 3, 3–18.
- Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse : Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (5. Auflage). *Grundlagentexte Methoden*. Beltz VerlagsgroupePreselect.media GmbH. http://www.content-select.com/index.php?id=bib_view&ean=9783779955337 <https://doi.org/Seite>
- Pfundt, H. (1981). Das Atom - letztes Teilstück oder erster Aufbaustein? Zu den Vorstellungen, die sich Schüler vom Aufbau der Stoffe machen. *Chimica didactica*, 7(2), 75–94.
- Wiener, G. J., Schmeling, S. M. & Hopf, M. (2017). Introducing 12 year-olds to elementary particles. *Physics Education*, 52(4), 313–322. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa6cfe>