

Welche Argumente überzeugen Schüler*innen vom Teilchenmodell?

Fragestellung

Die emergente Natur vieler physikalischer Phänomene, wie beispielsweise Temperatur oder Aggregatzustände, wird von Schüler*innen häufig nicht erkannt, da sie die ontologischen Kategorie verwechseln (Chi, 2005) und Eigenschaften makroskopischer Gegenstände auf Atome und Moleküle übertragen (Griffiths & Preston, 1992). Eine ebenfalls verbreitete Vorstellung, ist die Annahme, Teilchen würden sich innerhalb eines kontinuierlichen Mediums bewegen (Lee et al., 1993). Derartige Hybridmodelle werden auch durch naturwissenschaftlichen Unterricht, insbesondere durch Darstellungen in Schulbüchern hervorgerufen (Harrison & Treagust, 2006). Um den eben genannten Problemen bei der Einführung des Teilchenmodells im Physikunterricht zu begegnen, wird im Rahmen eines Dissertationsprojekts der Frage "Wie kann das Verständnis von Schüler*innen zu emergenten Vorgängen im Kontext des Teilchenmodells verbessert werden?" nachgegangen. Ein erster Schritt ist dabei die Suche nach Argumenten, welche Schüler*innen von der Anwendbarkeit des Teilchenmodells überzeugen. Des Weiteren sollte evaluiert werden, inwiefern typografische Darstellungen (Wiener et al., 2015) tragfähige Vorstellungen zum Aufbau der Materie unterstützen können.

Hintergrund

Der Forschungsprozess im Dissertationsprojekt ist nach dem Prinzip des Design-Based Research strukturiert. Ziel ist dabei einerseits die Entwicklung einer Lehr-Lerneinheit zum Teilchenmodell, sowie andererseits theoretische Erkenntnisse über Lernprozesse im Kontext des Teilchenmodells zu gewinnen (Haagen-Schützenhöfer & Hopf, 2020). Charakteristisch für Design-Based Research ist eine zyklische Vorgehensweise, bei der sich Design, Intervention und Auswertung einander abwechseln. Am Beginn steht dabei eine ausführliche Auseinandersetzung mit der Literatur, um in weiterer Folge eine didaktische Rekonstruktion (Kattmann et al., 1997) vornehmen zu können. Produkt dieser Rekonstruktion ist eine Reihe von *Key Ideas*, zentralen Konzeptideen, welche die Lernziele für die zu entwickelnde Lehr-Lerneinheit darstellen. Im nächsten Schritt werden diese Key Ideas evaluiert, wofür mit einzelnen Schüler*innen leitfadengestützte Interviews nach der Methode der Akzeptanzbefragung (Jung, 1992; Wiesner & Wodzinski, 1996) geführt werden. Die Auswertung der dabei erhobenen Daten erfolgt mittels evaluativer qualitativer Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2018). Gewonnene Erkenntnisse aus der Befragung dienen dann als Anhaltspunkte für eine Adaptierung der Key Ideas. Die im Weiteren dargestellte Vorgehensweise stellt den ersten Zyklus im soeben skizzierten Arbeitsprozess dar.

Methode

Als Argumente für das Teilchenmodell wurden aus der Literatur (Fischler & Rothenhagen, 1997; Hofmann & Erb, 2018; Sieve, 2016) fünf Experimente¹ zum Teilchenmodell ausgewählt. Die Auswahl erfolgte dahingehend, dass sich das Experiment nur im Rahmen des Teilchenmodells hinreichend erklären lässt. Dadurch sollte die Idee, dass „alles, was

¹ 1. Beobachtung der Brown'schen Bewegung in einer Fett-Wasser-Emulsion unter dem Mikroskop, 2. Destillation einer farbigen Lösung, 3. Volumenänderung eines Quetschbeutels beim Erhitzen und Abkühlen, 4. Ölfleckversuch, 5. Schwimmen eines Eis in Salzwasser

man anfassen kann, aus kleinsten Teilchen aufgebaut ist“ motiviert werden. Am Beginn jedes Interviews stand die Vorführung eines der fünf Experimente durch den Interviewer. Die Schülerin beziehungsweise der Schüler sollte dann versuchen eine erste Erklärung der im Experiment beobachtbaren Phänomene abzugeben. Darauf folgte die Erklärung des Experiments unter Berücksichtigung der Vorstellung, dass alles aus Bausteinen aufgebaut ist. Die Teilnehmer*innen sollten nach der Erklärung zuerst bewerten, ob sie diese nachvollziehen können und als verständlich erachten. Danach wurden die Schüler*innen aufgefordert die Erklärung noch einmal zu paraphrasieren, um Rückschlüsse darüber zu ermöglichen, inwieweit diese von ihnen tatsächlich verstanden wurde. Außerdem gab es mehrere Aufgaben dazu lösen, um zu überprüfen, ob die Schüler*innen zu dieser Key Idea auch Transferleitungen erbringen können. Zudem sollten sie aus drei verschiedenen Darstellungen zum Teilchenmodell jene auswählen, die sie persönlich am meisten überzeugt. Die zweite Key Idea, wonach das Verhalten aller seiner Teilchen die Eigenschaften eines Stoffes bestimmt, wurde mithilfe eines Modellexperiments (Itakura & Funahashi, 2019) zu den Aggregatzuständen erläutert. Dieses zeigt, wie sich die Abstände zwischen den Teilchen eines Stoffes ändern, wenn dieser in einen anderen Aggregatzustand übergeht.² Dazu werden kleine Plastikkügelchen in eine verschließbare Plastiktüte gegeben. Schüttelt man die Tüte, beginnen sich die Kügelchen zu bewegen, wobei sie sich mit zunehmender Geschwindigkeit immer weiter voneinander entfernen. Um mit den verwendeten typografischen Darstellungen im Einklang zu stehen, wurde das Modellexperiment dahingehend modifiziert, dass die Plastikkügelchen durch kleine 3D-gedruckte H₂O Symbole ersetzt wurden. Der Fokus liegt auch hier auf den Abständen, Bindungseigenschaften im Festkörper können in diesem Modell nicht modelliert werden. Auf die Erklärung der Key Idea folgte dann wiederum die Bewertung der Akzeptanz, die Paraphrase und mehrere Aufgabenstellungen. Wie schon bei der ersten Key Idea gab es auch hier wieder eine Aufgabe, bei der die Schüler*innen aus drei Darstellungen zum Teilchenmodell die für sie plausibelste auswählen. Den Abschluss des Interviews bildete ein erneutes Aufgreifen des Anfangsexperiments, welches nun noch einmal von den Proband*innen erklärt werden sollte, um einen möglichen Lernzuwachs durch die Beschäftigung mit den Inhalten der Befragung zu erheben.

Insgesamt wurden 20 Interviews geführt, wobei alle Schüler*innen dasselbe Gymnasium in Wien besuchen. Die Stichprobe setzt sich zu gleichen Teilen aus Schüler*innen der sechsten und der zehnten Schulstufe zusammen. Diese Auswahl erfolgte einerseits um einen ersten Eindruck über die Schwierigkeit der Key Ideas für unterschiedliche Altersgruppen zu gewinnen und andererseits aufgrund der Verankerung des Themas im österreichischen Physik-Lehrplan dieser beiden Schulstufen. Die Interviews wurden mit einem Diktiergerät aufgenommen und in weiterer Folge transkribiert. Die Auswertung erfolgte zuerst mit deduktiv formulierten Kategorien, welche dann in weiterer Folge noch durch eine induktive Herangehensweise verfeinert wurden. Dies geschah vorwiegend dann, wenn sich das ursprüngliche Kategoriensystem als zu unpräzise erwies beziehungsweise bei einer Frage unerwartete Reaktionen der Schüler*innen auftraten. Die Darstellung des kodierten Datenmaterials in Form einer mehrfarbigen Matrix orientiert sich an anderen physikdidaktischen Arbeiten (z.B. Burde, 2018; Haagen-Schützenhöfer, 2016; Zloklikovits & Hopf, 2021).

² Ungefähr im Verhältnis 1:1:10 beim Übergang fest – flüssig – gasförmig (de Vos & Verdonk, 1996).

Ergebnisse

Von sich aus verwenden nur äußerst wenige (3 von 20) Schüler*innen Begriffe wie „Teilchen“ oder „Atom“ für ihre erste Erklärung des Experiments. Auch wenn die meisten die Idee befürworten, dass sämtliche Materie aus Teilchen besteht, äußern einige jedoch emotionale Vorbehalte dagegen. Eine Schülerin empfindet die Vorstellung, dass alles aus Teilchen besteht beispielsweise als „extrem gruselig“. Besonders gehäuft treten diese Emotionen bei der Frage auf, ob auch der Mensch aus Bausteinen bestehe. Betrachtet man die Paraphrasen der Erklärung des Experiments, stellt man fest, dass weniger als die Hälfte die Erklärung korrekt wiedergeben können. Das ist zwar ein deutlicher Fortschritt zur Eingangsfrage, zeigt aber, dass es vielen sehr schwer fällt, das Verhalten der Teilchen mit den Beobachtungen des Experiments zu verknüpfen. Dabei wird das Ölfleckexperiment am schwierigsten empfunden. Insgesamt stellt sich keines der Experimente als besonders geeignet für die Einführung des Teilchenmodells dar. Noch schwieriger als das Paraphrasieren fällt den Schüler*innen die Anwendung der Key Idea auf neue Kontexte. Etwas besser fallen im Vergleich dazu die Ergebnisse bei der zweiten Key Idea, welche mittels Modellexperiment vermittelt wurde aus. Hier gelingt deutlich mehr als der Hälfte der Proband*innen eine korrekte Paraphrase. Dies kann möglicherweise an der größeren Anschaulichkeit eines Modellexperiments liegen. Jedenfalls zeigt sich, dass nicht nur die Paraphrase sondern auch die Beantwortung der Aufgaben deutlich besser gelingt als bei Key Idea 1. Davon ausgenommen ist eine Frage, welche besonders auf den emergenten Aspekt des Teilchenmodells abzielt. Diese kann nur von einem Viertel der Schüler*innen korrekt beantwortet werden. Typografische Darstellungen werden von mindestens der Hälfte als Beste von drei angebotenen Veranschaulichungen des Teilchenmodells gewählt. Bei der Frage nach einer Begründung ihrer Wahl argumentieren viele Schüler*innen damit, dass es gut zeige, wie die Moleküle „verkettet“ oder „zusammengebunden“ sind. Es zeigt sich somit, dass das typografische Modell besonders für die Darstellung des Aufbaus von Festkörpern geeignet ist.

Fazit

Die Ergebnisse der Akzeptanzbefragung zeigen, dass es Schüler*innen sehr schwer fällt, Beobachtungen in Experimenten mit Hilfe des Teilchenmodells zu erklären. Das verwendete Modellexperiment scheint dagegen etwas leichter verständlich und ist möglicherweise besser für die Einführung des Teilchenmodells geeignet. Darüber hinaus eröffnet sich die Frage, welche anderen Argumente, neben experimentellen Befunden, noch herangezogen werden könnten, um Schüler*innen vom Teilchenmodell zu überzeugen. Ebenso hat sich gezeigt, dass manche Schüler*innen emotional reagieren, wenn sie mit der Idee selbst auch aus Teilchen zu bestehen konfrontiert werden. Dieses Phänomen ist insofern beachtenswert, da sich auch negative Emotionen unter bestimmten Bedingungen aktivierend auf die Lernleistung auswirken können (Pekrun, 2018). Die typografischen Darstellungen wurden überwiegend positiv aufgenommen und scheinen für viele Schüler*innen überzeugender zu sein als die in Lehrbüchern häufig angetroffene Kugeldarstellung.

Literaturverzeichnis

- Burde, J.-P. (2018). *Konzeption und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zu einfachen Stromkreisen auf Basis des Elektronengasmodells*. Dissertation. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Band 259* [362 Seiten]. Logos Verlag Berlin. <https://doi.org/10.30819/4726>
- 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
- de Vos, W. & Verdonk, A. H. (1996). The particulate nature of matter in science education and in science. *Journal of research in science teaching*, 33(6), 657–664. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199608\)33:6<657::AID-TEA4>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199608)33:6<657::AID-TEA4>3.0.CO;2-N)
- Fischler, H. & Rothenhagen, A. (1997). Experimente zum Teilchenmodell. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*(41), 27–33.
- 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>
- Haagen-Schützenhöfer, C. (2016). *Lehr- und Lernprozesse im Anfangsoptikunterricht der Sekunderstufe I* [Habilitationsschrift]. Universität Wien, Wien.
- 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>
- 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.
- Hofmann, M. & Erb, R. (2018). Zur Überzeugungskraft von Experimenten zum Teilchenmodell. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung; 2018: Würzburg*. <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/878/1014>
- Itakura, K. & Funahashi, H. (2019). *Hypothesis-experiment class (Kasetsu)*. Trans Pacific Press.
- Jung, W. (1992). Probing Acceptance, A Technique for Investigating Learning Difficulties. In R. Duit & Universität Bremen (Hrsg.), *131. 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).
- 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. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (4. Aufl.). *Grundlagentexte Methoden*. Beltz Juventa. http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm?bok_id/2513416
- 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>
- Pekrun, R. (2018). Emotion, Lernen und Leistung. In M. Huber & S. Krause (Hrsg.), *Bildung und Emotion* (S. 215–231). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Sieve, B. (2016). Modellversuch zur Teilchenvorstellung. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*(153). <https://www.friedrich-verlag.de/chemie/atombau-periodensystem/teilchenmodell-im-quetschie/>
- Wiener, G. J., Schmeling, S. M. & Hopf, M. (2015). Introducing 12 year-olds to elementary particles. *Physics Education*, 52(4), 44001. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa6cfe>
- Wiesner, H. & Wodzinski, R. (1996). Akzeptanzbefragung als Methode zur Untersuchung von Lernschwierigkeiten und Lernverläufen. In R. Duit & Pädagogische Hochschule Ludwigsburg (Hrsg.), *151. Lernen in den Naturwissenschaften : Beiträge zu einem Workshop an der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg* (S. 250–274).
- Zloklikovits, S. & Hopf, M. (2021). Didaktische Rekonstruktion EM-Strahlung. In S. Habig (Vorsitz), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?* Symposium im Rahmen der Tagung von GDCE e.V.