

Lion Cornelius Glatz¹
 Roger Erb¹
 Albert Teichrew¹

¹Goethe-Universität Frankfurt

Experimente, die das Teilchenmodell überzeugend vermitteln

Schon in der Sekundarstufe I des naturwissenschaftlichen Unterrichts kommt eine besondere Bedeutung der Vorstellung zu, dass Materie aus diskreten Teilchen aufgebaut ist. Vor dem Hintergrund, dass dieses Thema anfällig für verschiedene Fehlvorstellungen ist, diese oft schwer abzulegen sind (Lichtfeld 1992, nach Fischler & Reiners, 2006) und es verschiedene Ansätze gibt, das Teilchenmodell einzuführen (Peuckert, 2006), wird die Frage relevant, welche Experimente für eine Unterstützung angemessener Teilchenvorstellungen für den Schulunterricht am besten geeignet sind.

Überzeugungskraft von Experimenten zum Teilchenmodell

Da es kein Experiment gibt, das den durch Teilchen strukturierten Aufbau der Materie direkt sichtbar machen kann und man durch experimentelle Beobachtungen auf deren Existenz lediglich indirekt schließen kann, ist bei Experimenten zum Teilchenmodell die Frage nach deren Überzeugungskraft besonders bedeutungsvoll. Mit „Überzeugungskraft“ ist dabei die Eigenschaft der Experimente gemeint, zu einer Veränderung der individuellen Teilchenvorstellungen beizutragen, hin zu fachlich adäquaten.

Für eine vergleichende Betrachtung dieser Überzeugungskraft wurden acht Experimente (s. Tab. 1) ausgewählt und als interaktive Experimentiervideos gestaltet. Das hatte zum Ziel, die Vergleichbarkeit der Experimente sicherzustellen. Außerdem wurden dadurch individuelle Bearbeitungsmöglichkeiten durch die Schüler*innen ermöglicht, bei gleichzeitiger Sicherstellung, dass alle Experimente einem gemeinsamen Qualitätsstandard entsprechen (für die Kriterien eines auf diese Weise erstellten interaktiven Experimentiervideos, s. Glatz et al., 2021).

Um eventuelle Unterschiede in der Überzeugungskraft in Verbindung mit generalisierbaren Eigenschaften der Experimente zu bringen, wurden diese in unterschiedliche Kategorien eingeteilt. Zum einen kann man zwischen den Experimenten unterscheiden, die in ihrem Aufbau vorwiegend aus dem Alltag bekannte Gegenstände verwenden, und solchen, die aus Geräten bestehen, die man eher einem wissenschaftlichen Kontext zuordnen würde. Zum anderen unterscheidet sich auch die inhaltliche Komplexität der Experimente. Um die Beobachtungen aus dem Experiment in angemessener Weise auf die gewünschten Aspekte des Teilchenmodells zu übertragen, sind nämlich unterschiedlich viele Denkschritte nötig. Nach der *Cognitive Load Theory* von Sweller et al. (2019), haben also manche Experimente eine höhere *Element Interactivity* als andere, was zu einer höheren intrinsischen kognitiven Belastung (ICL) führt (Sweller & Chandler, 1994).

Erhebungsdesign

Die Fähigkeit der Experimente, zu einer positiven Veränderung der individuellen Teilchenvorstellungen beizutragen, wurde Ende 2021/Anfang 2022 in einer Interventionsstudie mit Schüler*innen der achten Jahrgangsstufe aus fünf hessischen

Gymnasialklassen (N = 153) erhoben. Die interaktiven Experimentiervideos wurden dabei von jeweils zwei Fragebögen begleitet, in denen die Teilnehmenden eine Auswahl zwischen vorformulierten Aussagen zum Teilchenmodell treffen konnten. Neben der korrekten Modellaussage, die auch das jeweilige interaktive Experimentiervideo vermittelt (s. Tab. 1), wurden je zwei Alternativaussagen angeboten, die gängige Fehlvorstellungen ansprechen. Die Modellaussagenauswahl vor und nach der Durchführung des Experimentiervideos kann somit als eine erste Einschätzung der Überzeugungskraft der Experimente gedeutet werden.

Tab. 1: In der Erhebung verwendete Experimente mit dazugehörigen Aspekten des Teilchenmodells, eingeschätzter inhaltlichen Schwierigkeit und Art der verwendeten Geräte.

Experiment	zu vermittelnder Aspekt des Teilchenmodells	Element Interactivity	Art der Geräte
1 Partikel in der Rauchkammer	Teilchen sind in ständiger Bewegung.	Niedrig	Wissenschaftlich
2 Diffusion von Farbstoff in Wasser	Ohne äußere Einflüsse, verteilen sich Teilchen von Flüssigkeiten und Gasen gleichmäßig im Raum.	Niedrig	Alltäglich
3 Bilden und Lösen von Salzkristallen	Die Teilchen und deren Struktur untereinander bestimmen, welche erfahrbaren Eigenschaften die Materie hat.	Mittel	Alltäglich
4 Gesetz der konstanten Proportionen	Chemische Verbindungen werden in bestimmten Verhältnissen eingegangen. Die Verhältnisse werden von den Eigenschaften der Teilchen der jeweiligen Stoffe bestimmt.	Mittel	Wissenschaftlich
5 Ölfleckversuch	Die Teilchen eines Stoffes haben eine bestimmte Mindestgröße.	Hoch	Wissenschaftlich
6 Feldemissionsmikroskop	Mit speziellen Mikroskopen kann man auf die Existenz von Teilchen schließen.	Mittel	Wissenschaftlich
7 Elektrolyse mit Knallgasprobe	Teilchen sind mit einer bestimmten Struktur untereinander angeordnet. Diese Struktur kann sich durch physikalische oder chemische Prozesse ändern.	Hoch	Wissenschaftlich
8 Ei in Salzwasser	Zwischen den Teilchen ist leerer Raum.	Hoch	Alltag

Zusätzlich zu der von uns vorgenommenen Einschätzung der Experimente nach ihrer inhaltlichen Komplexität (*Element Interactivity* in Tab. 1), wurde in der Erhebung auch die wahrgenommene inhaltliche Schwierigkeit (ICL) mithilfe einer angepassten Version des *Intrinsic Cognitiv Load Scale* gemessen (Leppink et al., 2013, angepasst nach Thees et al., 2020).

Ergebnisse und Diskussion

Die acht untersuchten Experimente zum Teilchenmodell unterscheiden sich in ihrer Überzeugungskraft. Dies wird vor allem dann deutlich, wenn man die Antworten derjenigen Teilnehmer*innen betrachtet, die vor der Durchführung des jeweiligen Experiments eine

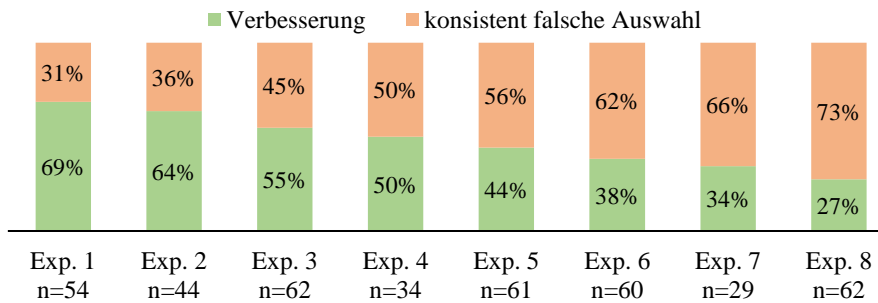


Abb. 1: Prozentuale Verteilung der Teilnehmer*innen, die nach Durchführung des Experiments bei einer falschen Modellaussagenauswahl bleiben (rote Säulenanteile), bzw. zu der korrekten wechseln (grüne Säulenanteile)

falsche Modellaussage auswählen (s. Abb. 1). Bei den Teilstichproben handelt es sich damit um die Schüler*innen, bei denen die Möglichkeit einer Verbesserung noch gegeben ist, die also von einer adäquateren Vorstellung „überzeugt“ werden können.

Der deutlichste Unterschied liegt zwischen den ersten zwei Experimenten (*Partikel in der Rauchkammer* und *Diffusion von Farbstoff in Wasser*) und den letzten beiden (*Elektrolyse mit Knallgasprobe* und *Ei in Salzwasser*), mit einem Zweidrittelanteil an Schüler*innen, die nach Bearbeitung der interaktiven Experimentiervideos zu der korrekten Modellaussage wechseln, bzw. bei der falschen bleiben. Zieht man in der Betrachtung die eingeschätzte *Element Interactivity* der Inhalte der Experimente heran (s. Tab. 1), so lässt sich folgern, dass die Experimente als überzeugender wahrgenommen werden, deren korrekte Bearbeitung weniger Denkschritte benötigt und damit kognitiv weniger fordernd ist. Hinzu kommt, dass es sich bei den ersten beiden Experimenten auch um diejenigen handelt, bei denen Schüler*innen auf direktere Weise etwas „Teilchenhaftes“ beobachten können. Das ist vermutlich ein weiterer Grund für deren hohe Überzeugungskraft.

Ein Vergleich der Mittelwerte des gemessenen ICL zeigt jedoch ein anderes Ergebnis: Die Experimente *Ei in Salzwasser* ($MW = 2.11$, $SD = .81$) und *Diffusion von Farbstoff in Wasser* ($MW = 2.13$, $SD = .98$) werden als signifikant weniger fordernd wahrgenommen ($p = .006$, $p = .005$) als *Feldemissionsmikroskop* ($MW = 2.79$, $SD = 1.08$). Sie schneiden im Vergleich zu *Elektrolyse mit Knallgasprobe* ($MW = 2.56$, $SD = .96$) ebenfalls als signifikant weniger fordernd ab ($p = .003$; $p = .019$), wie die Ergebnisse der Bonferroni-korrigierten post-hoc Tests zeigen. Auffallend ist dabei, dass das Experiment *Ei in Salzwasser* sogar als am wenigsten kognitiv fordernd wahrgenommen wird, was die Vermutung nahelegt, dass die Teilnehmer*innen die Experimente als inhaltlich leichter wahrnehmen, deren Aufbau visuell weniger komplex ist. Diese Annahme wird auch dadurch unterstützt, dass die Experimente mit den technisch kompliziertesten Geräten (Feldemissionsmikroskop und Hofmannscher Wasserzersetzungsapparat) die höchsten ICL-Werte erhalten.

Ausblick

In der weiteren Datenauswertung wird von Interesse sein, wie sich die Überzeugungskraft der Experimente verhält, wenn die Benutzerfreundlichkeit und die tatsächlich mit dem Video verbrachte Zeit mitberücksichtigt werden. Für weitere Studien wäre die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Experimente anderer Themengebiete von Interesse, insbesondere ob sich deren gemessenen ICL-Werte ebenfalls nach der Komplexität des Aufbaus richten.

Literatur

- Fischler, H., & Reiners, C. S. (2006). Teilchenmodelle im Physik- und Chemieunterricht. In H. Fischler & C. S. Reiners (Hrsg.), *Die Teilchenstruktur der Materie im Physik- und Chemieunterricht*. Logos.
- Glatz, L. C., Erb, R., & Teichrew, A. (2021). Studierende erstellen interaktive Experimentiervideos. In M. Kubsch, S. Sorge, J. Arnold, & N. Graulich (Hrsg.), *Lehrkräftebildung neu gedacht: Ein Praxishandbuch für die Lehre in den Naturwissenschaften und deren Didaktiken* (S. 223–227). Waxmann Verlag GmbH. <https://www.waxmann.com/index.php?eID=download&buchnr=4349#page=223>
- Leppink, J., Paas, F., Van der Vleuten, C. P. M., Van Gog, T., & Van Merriënboer, J. J. G. (2013). Development of an instrument for measuring different types of cognitive load. *Behavior Research Methods*, 45(4), 1058–1072. <https://doi.org/10.3758/s13428-013-0334-1>
- Peuckert, J. (2006). Stabilität und Ausprägung von Teilchenvorstellungen. In H. Fischler & C. S. Reiners (Hrsg.), *Die Teilchenstruktur der Materie im Physik- und Chemieunterricht*. Logos.
- Sweller, J., & Chandler, P. (1994). Why Some Material Is Difficult to Learn. *Cognition and Instruction*, 12(3), 185–233. https://doi.org/10.1207/s1532690xci1203_1
- Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., & Paas, F. (2019). Cognitive Architecture and Instructional Design: 20 Years Later. *Educational Psychology Review*, 31(2), 261–292. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09465-5>
- Thees, M., Kapp, S., Strzys, M. P., Beil, F., Lukowicz, P., & Kuhn, J. (2020). Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics laboratory courses. *Computers in Human Behavior*, 108, 106316. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106316>