

Die Teilchenprasselmaschine und das Kupferschiff: Experimente für den Anfangsunterricht

Die Versuchsreihe "Die Teilchenprasselmaschine und das Kupferschiff" betont die energetischen und insbesondere kinetischen Zustände kurz nach Stoffumwandlungsreaktionen bei enger Kopplung an den chemischen Formalismus (Teilchen-Spurensuche). Das St. Galler Modell eröffnet dadurch intuitive Verknüpfungen mit wesentlichen Lerngelegenheiten der Chemie auf beiden Schulstufen.

Problemaufriss

Alchemie und Chemie lassen sich anhand ihrer Methodik voneinander abgrenzen: Während die Alchemie eine esoterische und spekulative Herangehensweise erlaubte, ist die Chemie eine streng empirische Wissenschaft, die auf experimenteller Evidenz und rationaler Analyse beruht. Fachdidaktisch wird dies aufgegriffen, wenn in der Chemie Phänomene im Kontrast der Stoff- und Teilchenebene gedeutet werden. Die Teilchenvorstellung verknüpft die Phänomene möglichst zielstufengerecht.

Das Erhitzen von gefüllten Reagenzgläsern, metallischen Objekten und anderen Gegenständen im Rahmen chemischer Versuche darf als gängige Tätigkeit chemischer Praxis angesehen werden. Es mag daher überraschen, dass im Rahmen einer Vorstudie durchgeführte Befragungen von SchülerInnen, Studierenden sowie Dozierenden mit naturwissenschaftlichem Kontext regelmäßig aufzeigten, dass das für die Chemie zentrale Phänomen "Erhitzen mit dem Gasbrenner" oft nur mit der Vorstellung eines immateriellen Energietransfers, nicht jedoch mit einer konkreten Vorstellung auf der Teilchenebene verknüpft werden konnte. Zentrale fachwissenschaftliche Inhalte können dabei in der Regel genannt und erläutert werden, insbesondere dass die Verbrennungsreaktion exotherm ist und daher insgesamt Energie freigesetzt wird, die sich zudem auf die erhitzten Objekte überträgt und als dessen Folge sich deren Teilchen stärker als zuvor bewegen. Allein die Erläuterung des genauen Mechanismus der Übertragung dieser Energie auf die erhitzten Objekte war in den allermeisten Fällen unklar. Auch den am GDGP-Workshop Teilnehmenden fiel es schwer, konkret zu erläutern, warum die Flamme eines Bunsenbrenners oder einer Kerze eigentlich heiß ist und andere Objekte erwärmen kann. Interessanterweise bieten auch Abbildungen in gängigen Lehrmitteln der Sekundarstufe 1 (z.B. NaTech 7 2019) dazu in der Regel keine adäquaten Vorstellungsmöglichkeiten während und kurz nach der chemischen Reaktion auf der Teilchenebene an. Da sich jedoch etablierte Vorstellungen zu späteren Zeitpunkten durch unterrichtliche Intervention nur äußerst schwer ändern lassen (Allen 2009; Watson et al. 1997), ist zu hinterfragen, ob nicht bereits auf der Sek I eine fachwissenschaftlich anschlussfähige Deutungsmöglichkeit auf der Teilchenebene entwickelt werden sollte – und welche Potentiale sich gegebenenfalls daraus ergeben könnten.

Intervention

Im GDGP-Workshop wurde nach dem Problemaufriss die an der PH St.Gallen entwickelte Versuchsreihe "Die Teilchenprasselmaschine und das Kupferschiff" (St.Galler Modell)

vorgestellt, die die Möglichkeit bietet, durch Verknüpfung und Ergänzung etablierter Schulversuche für die Sek I eine solche Vorstellungsmöglichkeit auf der Teilchenebene anzusteuern.

In Kürze: Anknüpfend an den bekannten Versuch „Der Kupferbrief“ wird zunächst aus einem ähnlich dimensionierten Kupferblech ein „Kupferschiff“ gefaltet, d.h. ein wasserdichter Trog, in den eine kleine Portion Wasser gegeben und über der rauschenden Brennerflamme erhitzt werden kann. Es ist zu beobachten, dass während des Verdampfens des Wassers (in der Regel) keine sichtbare Veränderung des Kupfers eintritt, jedoch nach dem Verdampfen rasch ein Aufglühen und dann die vom Kupferbrief bekannten Phänomene zu beobachten sind. In der Deutung kann daher herausgearbeitet werden, dass die chemische Reaktion erst nach dem Verdampfen des Wassers erfolgt, und dass dies anscheinend auf die zuvor kühlende Wirkung des Wassers zurückzuführen ist. Dies eröffnet die Möglichkeit, sich konkreter mit dem Vorgang des Erhitzens und den Vorstellungen dazu auseinanderzusetzen.

Ausgehend von der Frage, wie die Flamme eigentlich das Metall des Kupferschiffs und in Konsequenz dann das Wasser erhitzt, kann durch vorsichtige Annäherung der Hand an die rauschend und damit stabil brennende Flamme von Oben und von der Seite gezeigt werden, dass vor allem die Annäherung von Oben zu einem starken Wärmeeindruck führt, während sich die Hand von der Seite überraschend nah an die Flamme heranführen lässt. Dies ermöglicht, Strahlung als Hauptkomponente der Energieübertragung zwischen Flamme und Objekt (Hand) auszuschließen. Strahlung einer größeren Stoffportion breitet sich kugelförmig in den Raum aus, und dies konnte mit der Sensorik der Hand nicht bestätigt werden. Als Kontrast kann die leuchtende Flamme eingestellt werden, deren Leuchten von allen Seiten und insbesondere auch von Unten zu beobachten ist.

Auf der Suche nach der Ursache und dem Mechanismus hinter dem Erhitzen durch eine Flamme können dann Überlegungen auf der Teilchenebene anhand eines Reaktionsschemas oder einer Reaktionsgleichung geführt werden, z.B. kann die Reaktion von Methan mit Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid und Wasser betrachtet werden. In der im Workshop gezeigten Versuchsreihe wurden dazu sowohl die Produkte der Reaktion durch Kalkwasserprobe (CO_2 (g)) und Watesmo-Papier nach Kühlung (H_2O (l)) nachgewiesen, als auch Zwischenprodukte der (unvollständigen) Reaktion (C (s)) in der leuchtenden Brennerflamme mittels Magnesia-Stäbchen. Weitere flankierende didaktische Massnahmen haben während dieser Phase das Ziel, einen wesentlichen Aspekt der chemischen Denk- und Arbeitsweise deutlich zu betonen – den beständigen Wechsel zwischen Beobachtungsmöglichkeiten auf der Stoffebene und Deutungsmöglichkeiten auf der Teilchenebene – und die Denkweise einer „Teilchenspurensuche“ in den Phänomenen zu motivieren.

Der Bogen hin zur konkreten Deutung des Phänomens „Erhitzen mit dem Gasbrenner“ wird dann geschlagen, indem überlegt wird, „wohin“ die Energie, die bei dieser chemischen Reaktion offensichtlich freigesetzt wird, „gehen könnte“, wenn sie nicht in Form von Strahlung übertragen wird. Dazu kann auch überlegt werden, warum das Reaktionsprodukt Wasser erst nach Kühlung als Flüssigkeit dem Abgasstrom der Flamme entnommen werden kann. Ziel ist nun, eine Vorstellungsmöglichkeit zu entwickeln, in der ein Teil der bei der Reaktion freigesetzten Energie „bei“ den Teilchen der Reaktionsprodukte verbleibt; nämlich indem diese kinetisch angeregt sind, also als Stoffportion wärmer sind. Ein Gasbrenner könnte daher auch als eine Art „Teilchenprasselmaschine“ gesehen werden, in der durch die chemische Reaktion einerseits beständig neue Teilchen (CO_2 (g), H_2O (g)) gebildet werden, und diese sich andererseits „mehr bewegen“ – im Modell des idealen Gases wäre diese Vorstellung übrigens einfacher, da hier die gesamte innere Energie des Gases dann allein durch die

kinetische Energie der Teilchen gegeben wäre. Im realen Gas ist es ein Zusammenspiel zwischen kinetischer, potentieller sowie innerer Anregungsenergie. Zudem ist deutlich zu thematisieren, dass die neu gebildeten Teilchen beständig mit anderen Teilchen kollidieren und daher i) keine weiteren Wege zurücklegen und ii) sich ihre Energie rasch auch auf andere Teilchen (z.B. Stickstoffmoleküle aus der Luft, in die Flamme hereinragende Teilchen von Objekten wie Reagenzgläser etc.) kinetisch überträgt, die wiederum mit anderen Teilchen kollidieren. Hier bietet es sich an, nochmal zum Versuch Kupferschiff zurückzukehren und die Vorgänge des Erhitzens in den verschiedenen Materialien genauer zu erörtern.

Diskussion und Ausblick

In Befragungen von SchülerInnen, Studierenden als auch Dozierenden zeigte sich, dass für das Phänomen „Erhitzen durch einen Gasbrenner“ oft nur die Vorstellung eines immateriellen Energietransfers als Deutungsmöglichkeit angeboten wird. Dies bedeutet, dass implizit von einer Übertragung durch Strahlung ausgegangen wird und keine teilchenbasierte Deutung verfügbar ist. Dieser Vorstellung kann aber bereits mit einfachen, sogar direkt körperlich erfahrbaren Versuchen begegnet werden. Durch die Verknüpfung und Ergänzung etablierter Schulversuche für die Sek I kann zudem eine kinetische Deutung des Phänomens auf der Teilchenebene gezielt angesteuert werden, die Stoffumwandlung und Energieumwandlung anschaulich verknüpft. Vorläufige Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Verfügbarkeit einer solchen explizit teilchenbasierten, kinetischen Vorstellung zu mehr Anschaulichkeit und infolgedessen zu einfacheren Zugängen sowohl zu fachwissenschaftlichen Inhalten als auch zu Deutungen von verbreiteten Alltagsphänomenen führen kann. Die hohe Übertragbarkeit des herausgearbeiteten konzeptionellen Verständnisses auf weitere wesentliche Lerngelegenheiten der Chemie sowie auf das überfachliche Themenfeld Energie laden daher zu einer intensiveren Auseinandersetzung mit dieser offensichtlich noch oft übersehenen, jedoch stark vernetzten Perspektive auf die Teilchenebene ein.

Ausgehend von den ersten Erfahrungen mit dem hier vorgestellten St.Galler Modell zur kinetischen Deutung des Phänomens „Erhitzen/Flamme“ ist zu hinterfragen, ob durch die aktuell in den gängigen Lernmedien den Lernenden angebotenen didaktischen Zugänge zum zentralen Phänomen „Erhitzen durch Flamme“ nicht unnötig hohe Verständnishürden auferlegt werden, was sich u.a. auch auf den angestrebten Kompetenzaufbau z.B. im Konzeptbereich Energie (Bernholt et al. 2020) negativ auswirken könnte.

Literatur

Allen, Michael (2009): Learner error, affectual stimulation, and conceptual change. In: *J. Res. Sci. Teach.*, 151-173. DOI: 10.1002/tea.20302.

Bernholt, Sascha; Höft, Lars; Parchmann, Ilka (2020): Die Entwicklung fachlicher Basiskonzepte im Chemieunterricht – Findet ein kumulativer Aufbau im Kompetenzbereich Fachwissen statt? In: *Unterrichtswiss* 48 (1), S. 35–59. DOI: 10.1007/s42010-019-00065-4.

NaTech 7 (2019). 1. Auflage. Bern: Schulverlag plus.

Watson, J. Rod; Prieto, Teresa; Dillon, Justin S. (1997): Consistency of students' explanations about combustion. In: *Sci. Ed.* 81 (4), S. 425–443. DOI: 10.1002/(SICI)1098-237X(199707)81:4<425::AID-SCE4>3.0.CO;2-E.