



Die Quantifizierung des „Horror vacui“ – Ein Experiment zur Bestimmung der mittleren Teilchenabstände im gasförmigen Zustand

Karin Petermann, Jens Friedrich, Marco Oetken

Eines der charakteristischen Kennzeichen der Chemie ist die Betrachtung experimenteller Beobachtungen auf der phänomenologischen Ebene und ihre anschließende Interpretation auf der submikroskopischen Ebene. Auf Grund seines zentralen Stellenwertes in der Chemie wird das Teilchenkonzept bereits im Anfangsunterricht eingeführt. Für die Schüler ermöglicht es das Verständnis vieler aus dem Alltag bekannter Phänomene. Es gibt zahlreiche Phänomene wie z.B. Lösevorgänge, Kristallisationsprozesse, die Diffusion bzw. die Osmose oder die Brown'sche Bewegung, die mit Hilfe der Teilchenhypothese besser interpretierbar sind und die es gewissermaßen nahe legen, „... die Existenz kleinster Teilchen anzunehmen“ [1].

Mit der Einführung des diskontinuierlichen Aufbaus der Materie sollten die folgenden wesentlichen Aspekte des Teilchenkonzepts erarbeitet werden: 1. Alle Stoffe bestehen aus kleinen, vorgebildeten, kugelförmigen Teilchen, 2. Die Teilchen verschiedener Stoffe unterscheiden sich in ihrer Größe und Masse, 3. Die Teilchen befinden sich in permanenter, regelloser Bewegung; 4. Zwischen den Teilchen befindet sich Nichts („horror vacui“) 5. Zwischen den Teilchen wirken Anziehungskräfte.

Inzwischen liegen zahlreiche empirische Untersuchungen vor, in denen Vorstellungen von Kindern und Jugendlichen zu verschiedenen Aspekten des Teilchenkonzeptes erhoben wurden. Bei der Analyse der in der Literatur beschriebenen empirischen Untersuchungen lassen sich eine Reihe von zentralen Kategorien sehr häufig auftretender Schülerfehlvorstellungen identifizieren. In dem vorliegenden Beitrag soll die sog. „horror vacui“-Vorstellung in den Blickpunkt genommen werden.

Wenn man Schüler damit konfrontiert, dass der Raum zwischen den Teilchen leer ist, äußern sie sehr häufig Aussagen wie diese:

„Der Raum zwischen den Teilchen kann nicht leer sein bzw. dort ist nicht nichts vorhanden“/ „Ich kann mir nicht vorstellen, dass dort nichts ist“/ „Wenn keine Luft vorhanden wäre, müsste dort Vakuum sein und das kann ich mir nicht vorstellen“/ „Irgendwas muss ja vorhanden sein, es gibt keinen Ort, wo überhaupt nichts ist“ [2]

Diese Schüleraussagen zeigen exemplarisch, dass die Vorstellung vom leeren Raum zwischen den Teilchen den Schülern häufig große Schwierigkeiten bereitet. Offensichtlich existiert in der Vorstellung der Lernenden so etwas wie ein „horror vacui“, also ein „Schrecken vor der Leere“.



Auf der Grundlage der Untersuchungen von NOVICK/ NUSSBAUM [3] entwickelten BARKE und HARSCH einen Fragebogen, in dem Schüler zum Verdampfen von Butan befragt wurden. In der eingesetzten Testaufgabe (siehe Abb. 1) sollten die Schüler zunächst eine Modellzeichnung anfertigen, wie sie sich das Verdampfen von Butan auf der Teilchenebene vorstellen und anschließend in einer Multiple-Choice-Aufgabe ankreuzen, was sich ihrer Ansicht nach zwischen den Teilchen des Butan-Gases befindet [4].

Nahezu alle Probanden konnten in der Untersuchung die Modellzeichnung richtig wiedergeben, aber nur etwa 50% entschieden sich für die richtigen Antwortmöglichkeiten „der Raum zwischen den Teilchen ist leer“ oder „zwischen den Teilchen ist nichts“. Folglich ging die andere Hälfte der Befragten davon aus, dass sich zwischen den Butangas-Teilchen Butan, Luft oder andere Materie befindet.

Da die Vorstellung vom leeren Raum zwischen den Teilchen, wie die oben beschriebenen Studien exemplarisch zeigen, den Lernenden aller Altersstufen offensichtlich große Schwierigkeiten bereitet, erscheint es bei der Einführung der Teilchenmodells sinnvoll, die „horror vacui“-Vorstellung explizit zu thematisieren. In diesem Zusammenhang erlangt das im Folgenden beschriebene Experiment eine besondere Bedeutung [5]. Dieses soll im Folgenden kurz vorgestellt werden.

3. Modelle für das Verdampfen von Butan (Campinggas)

Die Hülse einer Handpumpe wird vollständig mit Butangas gefüllt. Das Gas wird mit der Handpumpe unter Druck in flüssiges Butan verwandelt. Wird der Kolben der Pumpe gelöst, so verdampft flüssiges Butan wieder.

Zeichne Deine Teilchenvorstellung auf:

Wie stellst Du Dir den Raum zwischen den Teilchen im Butangas vor?

Ich stelle mir vor, dass

- zwischen den Teilchen auch *Butangas* vorhanden ist,
- der Raum zwischen den Teilchen *leer* ist,
- zwischen den Teilchen *nichts* vorhanden ist,
- sich *Luft* zwischen den Teilchen befindet,
- ein besonderer unsichtbarer Stoff zwischen den Teilchen ist.

Abb. 1: Ausschnitt aus dem Fragebogen zum „horror vacui“ (die Teilchenvorstellung wurde hier bereits richtig eingezeichnet) (verändert nach: BARKE [4])

Versuch: Das Verdampfen von Butan

Geräte und Chemikalien:

Kartuschenbrenner mit Butan (Campinggas) mit Schlauchaufsatz, kleines Reagenzglas mit seitlichem Ansatz und passendem Gummistopfen, kurze Schlauchstücke, 10 mL Messzylinder, wasserfester Stift, Kolbenprober mit Hahn (250 mL), Stativmaterial



Durchführung:

An dem Kartuschenbrenner wird zunächst das Brennerrohr abgeschraubt und stattdessen ein ca. 8 cm langes Schlauchstück angebracht. Am Reagenzglas bringt man durch Einfüllen von 1 mL Wasser einen Eichstrich an und trocknet es anschließend. Das Reagenzglas wird an einem Stativ gehalten und über ein Schlauchstück mit einem Kolbenprober, der ebenfalls an einem Stativ gehalten ist, verbunden. Im nächsten Schritt wird der Kartuschenbrenner kopfüber über das Reagenzglas gehalten, sodass der am Kartuschenbrenner angebrachte Schlauch einige cm in das Reagenzglas ragt. Es muss darauf geachtet werden, dass der Hahn des Kolbenprobers verschlossen ist, bevor Butan in das Reagenzglas eingefüllt wird. Anschließend wird der Kartuschenbrenner geöffnet. Nach kurzer Zeit tropft flüssiges Butan in das Reagenzglas. Es wird etwa 2 cm hoch Butan eingefüllt. Danach lässt man so viel Butan verdampfen bis die vorab angebrachte Eichmarke von 1 mL erreicht ist. Dadurch wird sichergestellt, dass die Luft durch Butan vollständig aus dem Reagenzglas verdrängt wurde, bevor das Reagenzglas verschlossen wird. Anschließend wird das Reagenzglas mit einem Gummistopfen verschlossen und der Hahn des Kolbenprobers geöffnet.

Beobachtung:

Durch das zunehmende Verdampfen des flüssigen Butans nimmt das Volumen stetig zu. Das Verdampfen von Butan kann durch vorsichtiges Erwärmen des Reagenzglases durch die Handfläche erheblich beschleunigt werden. Nachdem das Butan vollständig verdampft ist, ist das Gas-Volumen im Kolbenprober auf ca. 210 mL angewachsen.

Nach der Versuchsdurchführung können die Schüler Überlegungen anstellen, wie man die starke Volumenzunahme beim Verdampfen von Butan auf der Diskontinuumsebene erklären könnte. Den Schülern kann hierzu ein Modellversuch, bei dem das Verdampfen von Butan auf der Teilchenebene nachgestellt wird, als Hilfestellung zur Verfügung gestellt werden. Im Modell wird auf anschauliche Weise ersichtlich, dass die Abstände zwischen den Teilchen beim Aggregatzustandswechsel von flüssig zu gasförmig erheblich zunehmen, wodurch sich die beobachtete Volumenzunahme beim Verdampfen von Butan erklären lässt. Auf Grund der oben beschriebenen Versuchsdurchführung kann auch keine Luft zwischen den Butanteilchen angenommen werden.

Mit dem Versuch zum Verdampfen von Butan kann den Schülern auf sehr eindrucksvolle Weise gezeigt werden, wie stark das Volumen beim Übergang vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand ansteigt. Bei dem Einsatz eines Modellversuchs wird auf der modellhaften Ebene zudem verdeutlicht, dass die Abstände zwischen den Teilchen dabei ebenfalls um ein vielfaches zunehmen und zwischen den Teilchen ein Vakuum existiert.

Eine interessante Fragestellung, die sich nun anschließen könnte, wäre es zu ermitteln, um welchen Faktor sich der Abstand der Teilchen beim Übergang zwischen dem flüssigen und dem gasförmigen Aggregatzustand vergrößert. Ausgehend von dem oben beschriebenen Versuch, wurde daher nach Möglichkeiten gesucht, wie man den „horror vacui“ bzw. den leeren Raum zwischen den Teilchen quantifizieren und die Vergrößerung des Teilchenabstandes beim Verdampfen von Butan mit Schülern auf einfache und anschauliche Weise berechnen könnte. Hierzu wurde folgende Modellrechnung durchgeführt: Aus exakt 1 mL Bu-



tan entstehen 210 mL Butangas. Diese Volumina sind in Abb. 2 schematisch in Form von Würfeln dargestellt.

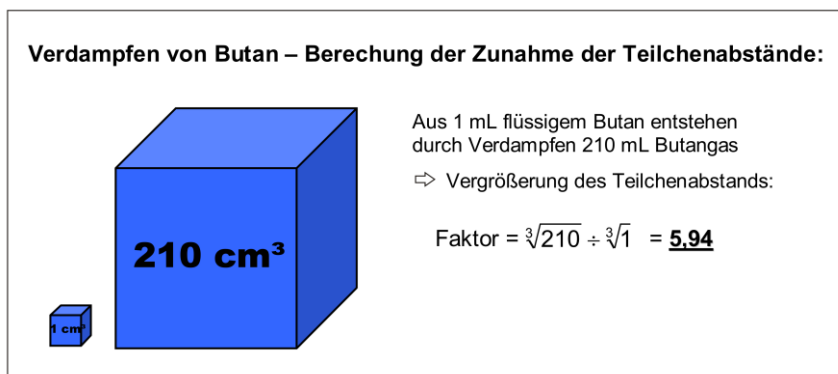


Abb. 2: Modellrechnung zur Berechnung der Zunahme der Teilchenabstände beim Verdampfen von Butan

In beiden Würfeln befindet sich die gleiche Anzahl x von Butanteilchen. Im Modell wird vereinfacht angenommen, dass die Butanteilchen auf den Ecken des Würfels sitzen. Der Abstand zwischen den Teilchen entspräche dann der Kantenlänge des Würfels; also der dritten Wurzel des Volumens des Würfels. Setzt man die so errechneten Werte in der Modellrechnung in Relation zueinander, erhält man den Faktor 5,94. Der Teilchenabstand zwischen den Butanteilchen vergrößert sich beim Verdampfen also um rund das 6fache.

Selbstverständlich lässt sich die Zunahme der Abstände zwischen den Teilchen beim Verdampfen – zwar wesentlich komplexer – auch über die Berechnung der Teilchenabstände im flüssigen und gasförmigen Aggregatzustand mit Hilfe der kinetischen Gastheorie berechnen, die zu dem Faktor 6,33 kommt.

Anschriften der Verfasser:

Karin Petermann, Prof. Dr. Jens Friedrich, Prof. Dr. Marco Oetken, Pädagogische Hochschule Freiburg, Abteilung Chemie, Kunzenweg 21, 79117 Freiburg, E-Mail: jens.friedrich@ph-freiburg.de, marco.oetken@ph-freiburg.de

Literatur

1	FISCHLER, HELMUT; ROTHENHAGEN, ANDREAS: Experimente zum Teilchenmodell, in: Unterricht Physik, 8, 41/1997, S. 27-33.
2	BARKE, HANS-DIETER: Der „horror vacui“ in den Vorstellungen zum Teilchenkonzept, in: BARKE, HANS-DIETER/HARSCH, GÜNTER: Chemiedidaktik heute – Lernprozesse in Theorie und Praxis, Heidelberg, 2001.
3	NOVICK, SHIMSHON/NUSSBAUM, JOSEPH: Pupils' understanding of the Particulate Nature of Matter: An interview study, in: Science Education, 62, 3/1978, S. 187-195.
4	BARKE, HANS-DIETER: Chemiedidaktik - Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen, Berlin, 2006.
5	COLLIN, CHRISTIANE/LANGE, GABRIELE/FLINT, ALFRED: Feuerzeuggas flüssig oder gasförmig, in: Chemkon, 16, 3/2009, S. 147-148.