

Referentin: Anne Heßler

Dozent: Dr. Thomas Wilhelm

Datum: 5.11.08

Wie klein sind die „kleinsten Teilchen“ (Atome)?

Frühjahr 2006, Thema Nr. 3

1. Die Materie ist aus „kleinsten Teilchen“ (Atomen) aufgebaut. Beschreiben sie das im Physikunterricht Ihrer Schulart vor allem in der Wärmelehre verwendete Teilchenmodell!

Umgangssprachlich beschreibt ein Modell eine Verkleinerung von Originalen, in den Naturwissenschaften wird „Modell“ im Sinne von „Modellvorstellung“ verwendet, also als ein theoretisches Konstrukt. In dieser Aufgabe soll explizit das Teilchenmodell beschrieben werden, das in der Wärmelehre verwendet wird. Dabei handelt es sich um ein Gedankenmodell, wobei den Aggregatzuständen fest, flüssig und gasförmig verschiedene Eigenschaften zugesprochen werden.

Das Teilchenmodell:

Jede Materie besteht aus unvorstellbar kleinen Teilchen, die man als Atome bezeichnet. Der Durchmesser eines Atoms liegt in der Größenordnung von einem Zehntel eines Millionstel Millimeters! Oft sind mehrere Atome zu einem etwas größeren Teilchen verbunden, man spricht von einem Molekül. Die Atome sind so verschwindend klein, dass man nicht sehen kann, wie sich die Materie aus ihnen aufbaut. Daher benötigt man eine Vorstellungshilfe: ein Modell, das Teilchenmodell.

Man stellt sich Teilchen als Kügelchen (wie Billardkugeln) vor; verschiedene Arten von Atomen kann man sich beispielsweise durch unterschiedlich gefärbte Kugeln vorstellen. Zwischen den Teilchen können Kräfte wirken; Anziehung kann man beispielsweise durch dickere Linien darstellen, die die Kugeln verbinden.

Unterschiedliche Eigenschaften finden sich bei der Form der Aggregatzustände. Festkörper behalten ihre Form unabhängig vom Gefäß bei, weil die Teilchen fest verbunden sind. Flüssigkeiten passen sich jeder Gefäßwand an und Gase nehmen den ganzen angebotenen Raum ein, da sich die Teilchen frei bewegen. Zweitens kann man hinsichtlich des Volumens unterscheiden. Festkörper behalten bei nicht zu großer Kraft das Volumen bei, Flüssigkeiten sind nahezu inkompressibel, wohingegen sich das Volumen von Gasen verändert (Gase sind kompressibel). Betrachtet man drittens die Kräfte zwischen den Teilchen, so üben Atome relativ große Anziehungskräfte im Festkörper aufeinander aus. Im Vergleich hierzu sind die Kräfte zwischen den Atomen in Flüssigkeiten geringer. Im Gas finden sich – laut Teilchenmodell – nahezu keine Kräfte zwischen den Atomen. Möchte man die Teilchenanordnung beschreiben, so haben die Atome in Festkörpern einen geringen Teilchenabstand und die ortsfesten Teilchen schwingen um die Ruhelage. In Flüssigkeiten findet sich auch ein geringer Teilchenabstand zwischen den Atomen, jedoch sind die Teilchen gegeneinander verschiebbar. Der Teilchenabstand in Gasen hingegen ist relativ groß. Die Teilchen bewegen sich völlig frei und regellos

im Raum, stoßen sich gegenseitig und mit der Gefäßwand. Anzumerken ist noch, dass die mittlere Geschwindigkeit von der Temperatur abhängt und die Bewegung nie zur Ruhe kommt.

2. Beschreiben Sie detailliert ein Experiment durch das die Größenordnung des Durchmessers von „kleinsten Teilchen“ bestimmt werden kann!

Als Experiment werde ich den Ölfleckversuch beschreiben, da man durch dieses Experiment ein Teilchendurchmesser von ca. 10^{-10} m erhält. Die grundsätzliche Annahme, die man bei diesem Versuch macht, ist die Tatsache, sich Teilchen als kleine Würfel vorzustellen. Dadurch kann man in der 7. Klasse einfach die Teilchenzahl pro Volumen berechnen. In höheren Klassen ist es aber durchaus üblich anstatt der Würfel kleine Kugeln zu betrachten.

Geräteliste:

- 1 Tropfbürette (1ml), Petrischalen (mind. 25 cm Durchmesser) o.ä., Zerstäuber
- Chemikalien: Ölsäure ($C_{17}H_{33}COOH$), Leichtbenzin, Bärlappsporen (Lykopodium)
- bei Projektion des Versuchs zusätzlich: Tageslichtprojektor und Folie mit Raster
(Anmerkung: auf Projektionsplatte eine große flache Glasschale stellen, unter diese eine Folie mit cm-Raster legen, wodurch eine einfache Bestimmung des Fleckendurchmessers möglich ist)

Durchführung:

- Vorbereitung:

Ein zylindrisches Gefäß mit mindestens 25 cm Durchmesser wird mit Wasser gefüllt und die ruhige Wasseroberfläche hauchdünn mit Bärlappsporen (Lykopodium) bestreut. Oberhalb des Gefäßes bringt man mit Hilfe von Stativmaterial eine Tropfbürette an, deren Tropföffnung etwa 10cm bis 20cm über der Wasseroberfläche sein sollte. Anschließend gibt man 10 bis 20 ml eines Gemisches (2000:1) aus Leichtbenzin und Ölsäure in die Bürette. Um zu verhindern, dass das Leichtbenzin bereits in der Bürette verdampft, wird diese nach dem Einfüllen des Gemisches zugedeckt. Danach lässt man einige Tropfen der Flüssigkeit in einen Behälter tropfen, um sicher zu stellen, dass sich an der Austrittsöffnung der Bürette Flüssigkeit befindet.

- Messung:

Schritt 1: Man öffnet ganz vorsichtig den Hahn der Bürette und lässt genau einen Tropfen der Flüssigkeit auf die Wasseroberfläche tropfen. Es bildet sich ein kreisrunder Fleck auf der mit Bärlappsporen bedeckten Wasserfläche aus, dessen Durchmesser man mit einem Lineal abmisst. Da der Fleck eine Größe von etwa 20cm Durchmesser erreichen sollte, kann man mit einem handelsüblichen Lineal oder Geodreieck eine für den Erfolg des Versuchs durchaus genügend genaue Messung durchführen.

Schritt 2: Bestimmung des Volumens eines Tropfens Ölsäure-Leichtbenzin Gemisches. Dazu lässt man aus der Bürette genau einen Milliliter des Gemisches tropfen und zählt die Anzahl der Tropfen. Das Volumen eines Tropfens ergibt sich dann zu:

$$V_{\text{Tropfen}} = \frac{1\text{ml}}{N} = \frac{1\text{cm}^3}{N}$$

Auswertung:

Annahmen, die für die Auswertung gemacht wurden:

- Die Moleküle sind würfelförmig
- Ein Molekül ist aus 54 gleich großen, ebenfalls würfelförmigen Atomen aufgebaut, die dicht gepackt liegen
- Auf der Wasseroberfläche bildet sich eine monomolekulare Ölsäureschicht aus

Man bestimmt die Höhe eines Ölsäuremoleküls aus dem Quotienten des Volumens der Ölsäure und der Fläche des Ölflecks auf der Wasseroberfläche, da man davon ausgeht, dass der Ölfleck eine monomolekulare Schicht von Ölsäuremolekülen darstellt und somit die Höhe der Ölschicht der Molekülhöhe gleichkommt. $h_{Mol} = \frac{V_{Öl}}{A_{Ölfleck}}$

Das Volumen der Ölsäure errechnet man aus dem Volumen eines Tropfens des Ölsäure-Leichtbenzin Gemisches, indem man das Verhältnis der Mischung beachtet. Bei einem Mischverhältnis von Ölsäure zu Leichtbenzin von 1:2000 ist der 2001te Teil des Volumens eines Tropfens der gemischten Flüssigkeit tatsächlich Ölsäure. Also erhalten wir das Ölvolumen: $V_{Öl} = \frac{V_{Tropfen}}{2001} = \frac{1 \text{ cm}^3}{N \cdot 2001}$

Die Fläche des näherungsweise kreisförmigen Ölflecks bestimmt man aus dem gemessenen Durchmesser des Ölflecks: $A_{Ölfleck} = \frac{1}{4} \cdot d_{Ölfleck}^2 \cdot \pi$

Zieht man nun wieder die ersten beiden Annahmen heran, gelangt man von der so errechneten Molekülhöhe zur Atomhöhe. Denn nachdem unser würfelförmiges Ölsäuremolekül aus 54 gleich großen, würfelförmigen Atomen besteht, die darüber hinaus noch dicht gepackt liegen, kann man folgenden Ansatz machen:

$$V_{Mol} \approx 54 \cdot V_{Atom} \quad \Longleftrightarrow$$

$$h_{Mol}^3 \approx 54 \cdot h_a^3 \quad \Longleftrightarrow$$

$$h_a^3 \approx \frac{1}{54} \cdot h_{Mol}^3 \quad \Longleftrightarrow$$

$$h_a \approx \sqrt[3]{\frac{1}{54} \cdot h_{Mol}}$$

In der siebten Jahrgangsstufe sind diese Berechnungen nicht durchführbar, da den Schülerinnen und Schülern die mathematischen Grundlagen ($\sqrt[3]{}$) fehlen. Daher sollte man den Schülerinnen und Schülern sagen, dass wir wissen, dass ein Molekül aus 54 Atomen besteht und wenn man nun die Höhe eines Atomwürfels bestimmen will, folgende Näherung annehmen darf:

$$h_a \approx 0,26 \cdot h_{Mol}$$

Werte aus dem Experiment könnten sein:

Durchmesser des Ölflecks: $d_{Ölfleck} = 18 \text{ cm}$

Anzahl der Tropfen/ml: $N = 4$

Damit erhält man eine Molekülhöhe von: $h_{Mol} = \frac{1 \text{ cm}^3}{2001 \cdot 4 \cdot \frac{1}{4} \cdot d_{\text{Ölfleck}}^2 \cdot \pi} = \frac{1 \text{ cm}^3}{2001 \cdot 18 \cdot \pi} = 4,91 \cdot 10^{-7} \text{ cm}$

Und damit eine Atomhöhe von: $h_a = 0,26 \cdot h_{Mol} = 0,26 \cdot 4,91 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 1,3 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

Mit der halben Höhe (entspricht ungefähr dem Radius) erhält man eine Abschätzung von:

$$6,5 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

Atomradien liegen somit in der Dimension um 10^{-10} m . Dieses Ergebnis kann man dann mit folgenden Werten vergleichen:

- Wasserstoff: $3,7 \cdot 10^{-11} \text{ m}$
- Cäsium: $1,97 \cdot 10^{-10} \text{ m}$
- Kohlenstoff: $7,7 \cdot 10^{-11} \text{ m} \approx 10^{-10} \text{ m}$

3. Entwerfen Sie eine Unterrichtseinheit „Wie klein sind die kleinsten Teilchen?“! Geben Sie Lernvoraussetzungen an und formulieren Sie Lernziele! Beschreiben Sie einen Vergleich, der für die Schüler anschaulich illustriert, wie klein die „kleinsten Teilchen“ sind! Fertigen Sie zu dem Vergleich ein Tafelbild an!

In der siebten Jahrgangsstufe sollen die Schülerinnen und Schüler mit der atomaren Dimension vertraut werden. Ausgangspunkt ist hierbei bei den Schülerinnen und Schülern vielmals die Vorstellung, dass Stoffe kontinuierlich aufgebaut sind. Ziel der Unterrichtseinheit ist folglich diese Vorstellung durch die Atomhypothese, d.h. durch einen diskontinuierlichen Materialaufbau, zu ersetzen.

Das Teilchenmodell (siehe Teilaufgabe eins) soll in der vorangegangenen Stunde besprochen worden sein.

Lernvoraussetzungen:

- Die Schülerinnen und Schüler sollen die mathematischen Voraussetzungen aufweisen, die für die Berechnung der Atomhöhe bei dem Ölfleckversuch nötig sind. Hierbei handelt es sich um:
 - Lösen einfacher Bruchgleichungen
 - Kennen der Flächenberechnungsformel von Kreisflächen
 - Wissen, in welchen Einheiten man Volumina angibt und
 - Präsenz der Volumenformel von Würfeln
- Den Schülerinnen und Schülern sollen die Grundlagen des Teilchenmodells (siehe Aufgabe eins), das in der vorangegangenen Stunde besprochen wurde, präsent sein.

Lernziele:

Grobziel: Die Schülerinnen und Schüler sollen eine Vorstellung davon erlangen, wie klein Atome sind und mit der atomaren Dimension bekannt (vertraut) werden.

Feinziele:

1. Den Schülerinnen und Schülern sollen aus dem Eingangsversuch zur Diffusion die Grundlagen des Teilchenmodells wieder präsent sein.
2. Durch Simulation der Ölsäuremoleküle sollen die Schülerinnen und Schüler bei der späteren Berechnung der Atomhöhe diese dazu nötigen Schritte leichter nachvollziehen können.
3. Bei der Durchführung des Ölfleckversuchs soll den Schülerinnen und Schülern die Bedeutung des Leichtbenzins für den Versuch bewusst werden.
4. Die Schülerinnen und Schüler sollen nach der Berechnung der Atomhöhe eine ungefähre Vorstellung von der Atomgröße besitzen.
5. Durch den Vergleich mit realen Gegenständen soll diese Vorstellung intensiviert werden und die Schülerinnen und Schüler sollen von den Größenverhältnissen beeindruckt sein.
6. Die Schülerinnen und Schüler sollen die Bedeutung von Modellen für das Lösen eines Problems einsehen.

Unterrichtsphasen:

1. Einstieg/Motivation über Gase:

Versuch zur Diffusion von Gasen, indem man eine kleine Flasche Parfüm geöffnet in eine Ecke des Raumes stellt. Nach kurzer Zeit können alle Schülerinnen und Schüler den Geruch im Raum wahrnehmen. Dieser Versuch soll in Erinnerung rufen, was die vorangegangene Stunde besprochen wurde, nämlich den Aufbau der Materie durch Atome (hier: Gasteilchen, wie Parfümteilchen sind nach dem Teilchenmodell in Bewegung). Nach dem bekannten Teilchenmodell sind die kleinsten Bausteine des Universums Atome und nun soll die Frage geklärt werden, wie klein diese Atome sind. (= Problemstellung)

2. Erarbeitung/Problemlösung

Wie groß sind Atome?

Den Schülerinnen und Schülern soll mit Hilfe des Ölfleckversuchs nahe gebracht werden, um welche Dimension es sich bei der Größe von Atomen handelt. Die Durchführung des Versuchs findet wie in Aufgabe zwei beschrieben statt. Dabei führt die Lehrkraft der Klasse den Versuch vor und hält die Messergebnisse an der Tafel fest. Bei der Zählung der Tropfen kann man einen Schüler herauskommen lassen und mitzählen lassen. Alternativ könnte auch die ganze Klasse - bei einer langsamen Tropfgeschwindigkeit - gemeinsam laut mitzählen.

Anschließend erfolgt die Berechnung der Atomhöhe an der Tafel, doch zuvor müssen die Grundannahmen (siehe Aufgabe zwei) angeschrieben werden, die für die Berechnung notwendig sind:

- Die Moleküle sind würfelförmig
- Ein Molekül ist aus 54 gleich großen, ebenfalls würfelförmigen Atomen aufgebaut, die dicht gepackt liegen
- Auf der Wasseroberfläche bildet sich eine monomolekulare Ölsäureschicht aus

Die ersten beiden Annahmen lassen sich durch ihre große Anschaulichkeit in Bezug auf die nachfolgende Rechnung rechtfertigen. Die dritte Annahme stützt sich auf die Tatsache, dass sich eine sehr geringe Menge der Ölsäure auf der Wasseroberfläche befindet. Durch die Mischung der Ölsäure mit Leichtbenzin, das an der Luft verdampft (im Verhältnis 1:2000) bleibt auf der Wasseroberfläche

eigentlich nur der 2001te Teil des Tropfens an Flüssigkeit, der aus der Bürette kommt, an Ölsäure übrig. An dieser Stelle muss besonders die Bedeutung des Leichtbenzins hervorgehoben werden.

Bei der Berechnung wird, wie in Aufgabe zwei erläutert, zuerst die Molekülhöhe durch das Verhältnis Volumen des Öls zur Fläche des Ölflecks ausgedrückt. Anschließend wird das Ölvolumen und die Fläche des Ölflecks bestimmt. Mit Hilfe dieser Berechnungen und der Messergebnisse kann dann die Molekülhöhe und die Atomhöhe abgeschätzt werden. Somit erlangen die Schülerinnen und Schüler eine ungefähre Vorstellung darüber, wie klein Atome sind. Um die Berechnungen zu erleichtern, sollte man vor der Durchführung des Ölfleckversuchs die Moleküle der Ölsäure simulieren. Dies kann man tun, indem man Spielwürfel in ein zylindrisches Gefäß gibt und sagt, dass diese Spielwürfel für die Moleküle der Ölsäure stehen. Man füllt das zylindrische Gefäß gerade so voll, dass dessen Boden ganz bedeckt ist und keine Würfel übereinander liegen. Gemeinsam mit der Klasse entwickelt man nun an der Tafel, wie man die Höhe der Spielwürfel bestimmen kann. Diese Überlegungen werden dann bei der Berechnung der Molekülhöhe wieder aufgegriffen. Zudem sehen die Schülerinnen und Schüler, dass es sich dabei um eine Abschätzung handelt, da die Würfelböden nicht komplett die zylindrische Fläche bedecken können.

Für die Durchführung des Experiments ist es ratsam, das Gefäß auf einem Overhead-Projektor zu platzieren und die Tropfbürette an den Stativständen drehbar zu lagern. Auf diese Weise können alle Schülerinnen und Schüler das Auftreffen und Ausbreiten des Öltropfens auf der Wasseroberfläche beobachten, ohne ihren Platz verlassen zu müssen. Dies ist insofern vorteilhaft, dass einmal die Wasseroberfläche völlig ruhig sein muss, wenn die Ölsäure auf das Wasser getropft wird, um ein Auseinanderbrechen des Ölflecks zu vermeiden.

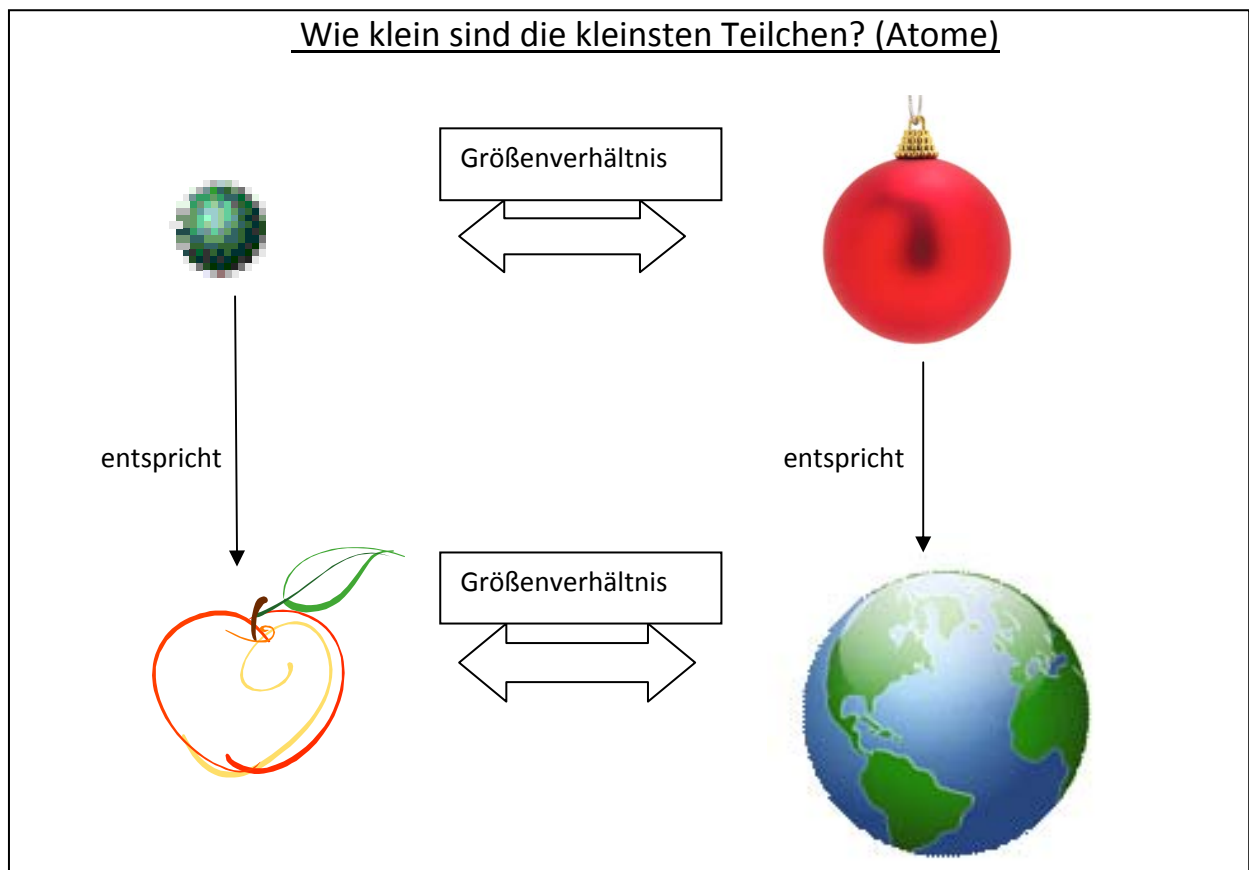
3. Sicherung:

Die Versuchsdurchführung und die Berechnung werden an der Tafel und im Heft festgehalten.

4. Vertiefung:

Da sich Schülerinnen und Schüler nur auf Grund der Zahlenwerte noch keine guten Vorstellungen machen können, wie klein Atome sind, soll ein Tafelbild erstellt werden, dass die Größenverhältnisse von Atomen mit realen Gegenständen vergleicht. Laut diesem Tafelbild ist das Größenverhältnis eines Atoms im Vergleich zu der Größe einer Christbaumkugel, analog wie das Verhältnis eines Apfels gegenüber der Erde. Neben dem auf dem Tafelbild dargestellten Vergleich kann man auch die Atomhöhe mit winzigen Gegenständen wie Bakterien vergleichen, die man mit einem Mikroskop noch erkennen kann.

Tafelbild:



Überblick:

Feinziel:	Unterrichtsverlauf:
Nr. 1	Einstieg, Wiederholung und Problemstellung
Nr. 2	Simulation
Nr. 3	Versuchsdurchführung
Nr. 4	Versuchsauswertung
Nr. 5 und Nr. 6	Vertiefung