

## Experimente zum Teilchenmodell

---

### 1) Zusammendrücken von Luft und Wasser in einer Spritze [1]

**Material:** 2 Spritzen 25 ml, Wasser

**Durchführung:** In eine der Spritzen wird zur Hälfte Wasser gefüllt, die andere ist mit Luft gefüllt. Man hält einen Finger gegen die Öffnung der Spritze und drückt nacheinander beide Spritzen zusammen.

**Beobachtung:** Bei der mit Luft gefüllten Spritze merkt man erst nach einiger Zeit einen Widerstand. Die mit Wasser gefüllte Spritze zeigt dagegen sofort einen Widerstand.

**Erklärung:** Der Unterschied liegt in der Inkompressibilität von Flüssigkeiten. Dies lässt sich im Teilchenmodell anschaulich erklären: der Abstand zwischen den Molekülen ist in der Luft etwa zehn Mal größer als im Wasser. Dementsprechend können die Moleküle der Luft den leeren Raum zwischen Ihnen noch weiter ausnutzen. Zwischen den Wassermolekülen ist kaum noch leerer Raum. Die Moleküle können sich zwar bewegen, jedoch nicht näher zusammenkommen. In einem kontinuierlichen Modell der Materie wäre diese Erklärung nicht möglich.

### 2) Destillation einer farbigen Lösung [2]

**Material:** Herdplatte, Becherglas 250 ml, Erlenmeyerkolben 250 ml, Reagenzglas zum Auffangen des Destillats gebogenes Glasrohr mit Stopfen, gefärbte Kochsalzlösung, Stativmaterial

**Durchführung:** 10 ml gefärbte Kochsalzlösung wird in den auf der Herdplatte stehenden Erlenmeyerkolben gefüllt und dieser mit dem Stopfen verschlossen. Das gebogene Glasrohr wird mit dem Stopfen verbunden und mit einem Stativ befestigt. Das zweite Reagenzglas wird ebenfalls mit einem Stativ befestigt. Das Becherglas wird mit kaltem Wasser gefüllt. Das Reagenzglas sollte möglichst weit in das kalte Wasser hineinragen, um die Kondensation zu begünstigen. Das gebogene Glasrohr sollte oben in das Reagenzglas zum Auffangen des Destillats hineinstehen.



**Abbildung 1:** Destillation einer farbigen Kochsalzlösung

**Beobachtung:** Erhitzt die Herdplatte nun die farbige Lösung, verdampft das Wasser und kondensiert im zweiten Reagenzglas. Das Farbpulver bleibt im ersten Reagenzglas zurück. Dabei sollte die Herdplatte abgedreht werden, bevor die Flüssigkeit vollständig verdampft ist.

**Erklärung:** Daraus lässt sich schließen, dass die Farbe sich nicht mit dem Wasser verbindet, sondern nur die Farbmoleküle sich zwischen den Wassermolekülen verteilen. Würde man von einer kontinuierlichen roten Flüssigkeit ausgehen, könnte man das farblose Destillat nicht erklären.

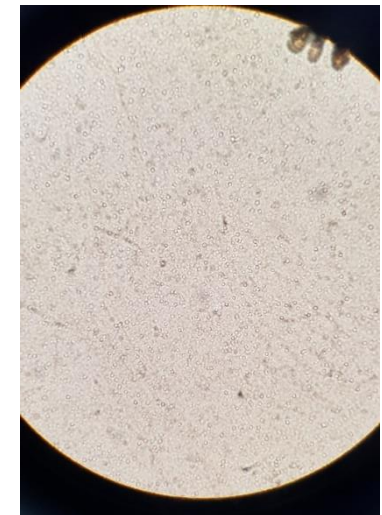
### 3) Beobachtung der Brownschen Bewegung in Wasser [2]

**Material:** Wasser, Milch 3,5 % Fett, verschließbares Glasgefäß, Pipette, Objektträger, Mikroskop, Filterpapier

**Durchführung:** Wasser und Milch werden in einem verschließbaren Gefäß im Verhältnis 5:1 gemischt. Das Gefäß wird verschlossen und gut geschüttelt, um eine möglichst homogene Emulsion zu erreichen. Mit der Pipette wird davon ein wenig entnommen und ein Tropfen auf den Objektträger aufgebracht. Dann legt man ein Deckgläschen schräg von oben vorsichtig darauf, wobei sich kein Luftbläschen bilden sollten. Überschüssiges Wasser wird mit Filterpapier abgesaugt. Der Objektträger wird in das Mikroskop eingespannt, wobei mindestens eine 400-fache Vergrößerung notwendig ist.

**Beobachtung:** Zu Beginn befinden sich die Fettteilchen noch in einer gleichgerichteten Strömung, die jedoch nach kurzer Zeit abklingt. Bei genauerer Beobachtung erkennt man eine unregelmäßige Bewegung der Fett-Tröpfchen, deren Bewegungsamplitude jedoch sehr klein ist. Dabei ist es am besten, ein einzelnes Tröpfchen zu beobachten.

**Erklärung:** Die Bewegung der Fett-Tröpfchen resultiert aus der ständigen thermischen Bewegung der Moleküle. Diese treffen auf die Tröpfchen und versetzen sie in Bewegung. Ohne die Annahme eines Teilchenmodells gibt es für dieses Phänomen keine Erklärung.



**Abbildung 2:** Brownsche Bewegung von Fett-Tröpfchen unter dem Mikroskop

#### 4) Quetschbeutel als geschlossenes System für Teilchenvorstellung [3]

**Material:** Becherglas (600 ml), Wasserkocher, leerer, sauberer Quetschbeutel, Tropfpipette, Brennspritus

**Durchführung:** Wasser wird im Wasserkocher zum Sieden gebracht. Das Becherglas wird zur Hälfte mit dem heißen Wasser gefüllt. Der Schraubdeckel eines Quetschbeutels wird abgeschraubt und durch Aufrollen die Luft aus dem Quetschbeutel gedrückt. Dann gibt man etwa 8 Tropfen Brennspritus in den aufgerollten Quetschbeutel, verschließt mit dem Schraubdeckel und entrollt den Quetschbeutel. Beim Schütteln kann man ggf. die Bewegung der Flüssigkeit darin hören. Nun hält man den verschlossenen Quetschbeutel in das heiße Wasser.

**Beobachtung:** Beim Hineinstellen in das heiße Wasser bläht sich der Quetschbeutel auf, beim Herausnehmen wird das Volumen wieder kleiner.

**Erklärung:** Der Brennspritus siedet im heißen Wasserbad (Ethanol:  $T_s = 78 \text{ °C}$ ) und folglich vergrößert sich das Volumen. Beim Abkühlen kondensiert der Brennspritus wieder und der Quetschbeutel wird vom Volumen her kleiner. Da der Quetschbeutel zuvor komplett leer war – daher ist das Aufrollen wichtig –, kann das Volumen nur vom Sieden des Brennspritus kommen. Im flüssigen Zustand waren die Teilchen aber dicht beieinander und berührten sich sogar (Vorstellung im Teilchenmodell). Aus diesem Grund kann zwischen den Teilchen nach dem Sieden des Ethanols nichts als leerer Raum sein. Luft oder andere Gase können somit als Bestandteil zwischen den Teilchen ausgeschlossen werden. Die Volumenzunahme des Quetschbeutels wäre in einem kontinuierlichen Modell der Materie nicht zu erklären.



Abbildung 3: Quetschbeutel im Wasserbad

#### 5) Ölfleckversuch [2]

**Material:** Wanne (ca. 30 cm x 40 cm), Lycopodium oder sehr fein gemahlener Pfeffer, Öl, dünne Nadel

**Durchführung:** Die Wanne wird einige Zentimeter hoch mit Wasser gefüllt. Dann wird Lycopodium oder Pfeffer auf der Wasseroberfläche verstreut. Mit der Nadel nimmt man eine winzig Menge Öl auf und hält die Nadel dann ins Wasser.

**Beobachtung:** Das Lycopodium wird ruckartig verdrängt und es bildet sich ein Kreis (Ölfleck) mit ca. 10 bis 15 cm Durchmesser.

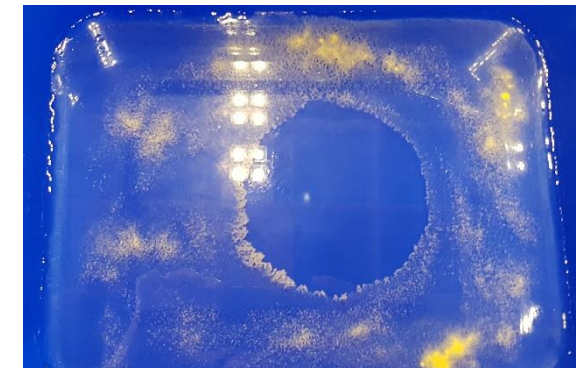


Abbildung 4: Ölfleckversuch

**Erklärung:** Da Öl und Wasser sich nicht vermischen breitet sich das Öl durch seine geringere Dichte gleichmäßig auf der Wasseroberfläche aus. Da die Ölmenge sehr klein ist, bildet sich eine Schicht, deren Ausdehnung annähernd dem Moleküldurchmesser entspricht. Würde man von einem kontinuierlichen Aufbau des Öls ausgehen, wäre das nicht der Fall.

## 6) Ei schwimmt in Salzwasser [4]

**Material:** Becherglas 500 ml, Becherglas 100 ml, Wasser, Salz, rohes Ei, Löffel, schwarzer Filzstift

**Durchführung:** Man füllt das Becherglas mit Wasser und gibt das Ei hinein. Danach gibt man das Ei wieder heraus und markiert den Pegelstand des Wassers mit dem Stift, sofern das Glas nicht über Markierungen verfügt. Dann misst man mit dem kleinen Becherglas 50 ml Salz ab. Dieses gibt man dann ins Wasser und rührt mit dem Löffel solange um, bis sich das Salz vollständig aufgelöst hat. Danach gibt man das Ei wieder in das Salzwasser.

**Beobachtung:** Bereits beim Mischen von Wasser und Salz kann man beobachten, dass das Volumen des Salzwassers geringer ist, als das jeweilige Volumen von Wasser und Salz. Im reinen Wasser sinkt das Ei zu Boden, im Salzwasser schwimmt es.

**Erklärung:** Kochsalz (Natriumchlorid) dissoziiert in Wasser in  $\text{Na}^+$  und  $\text{Cl}^-$  Ionen. Diese sind kleiner als die  $\text{H}_2\text{O}$  Moleküle und können daher Lücken zwischen diesen ausfüllen. Die Dichte der Lösung steigt, da das Volumen nicht gleichmäßig mit der Masse zunimmt. Die höhere Dichte erzeugt einen größeren Auftrieb, wodurch das Ei schwimmt (vgl. Auftrieb im sehr salzhaltigen Toten Meer). Die Zunahme der Dichte ist ohne die Annahme eines Teilchenmodells der Materie nicht erklärbar.



Abbildung 5: Ei schwimmt in Salzwasser

## 7) Molekulares Sieben [5]

**Material:** 50 ml – Bechergläser, Rollrandgläser, Einmachfolie, Gummibänder, Stativmaterial, Farbstoff-Lösungen (siehe Tabelle 1)

**Durchführung:** Die Rollrandgläser zur Hälfte mit Farbstoff-Lösung befüllen und mit einem Stück Einmachfolie und einem Gummiband verschließen. Das Gummiband muss sehr fest gespannt sein, damit nichts von der Farbstoff-Lösung ausläuft. Die Bechergläser zu zwei Drittel mit Wasser füllen, die Rollrandgläser hineinhalten und mit dem Stativmaterial befestigen.

*Herstellen der blauen Iod-Stärke-Lösung:* eine 1%-Stärkesuspension in destilliertem Wasser wird auf ca.  $70^\circ\text{C}$  erwärmt (nicht kochen) und danach durch einen feinen Filter heiß abfiltriert. Die Blaufärbung der Stärke-Lösung erreicht man durch Zugabe einer Kaliumtriiodid-Lösung. Für diese werden zur gesättigten

Kaliumdiiodid-Lösung 0,05 Mol Iod gegeben (für 100 ml beispielsweise 1,27 g). Die Kaliumtriiodid-Lösung zur Stärke-Lösung geben bis diese intensiv blau verfärbt ist.

*Herstellen der weinroten Iod-Dextrin-Lösung:* Die Herstellung erfolgt auf dieselbe Weise wie die Iod-Stärke-Lösung. Die Zugabe der Kaliumtriiodid-Lösung zur Dextrin-Lösung bewirkt eine weinrote Verfärbung.

**Beobachtung:** Bei einigen der Bechergläser sollten nach kurzer Zeit Schlieren unter der Einmachfolie zu erkennen sein. In anderen Bechergläsern verfärbt sich das Wasser auch nach längerer Zeit nicht.

Farbstoff-Lösung	Farbe	Konzentration	durchdringt Folie?
Iod-Dextrin-Lösung	weinrot	siehe Anleitung	nein
Iod-Stärke-Lösung	blau	siehe Anleitung	nein
Kaliumpermanganat-Lösung	lila	gesättigt	ja
Kaliumtriiodid-Lösung	braunrot	gesättigt	ja
Lebensmittelfarbstoff-Lösungen	verschiedene	gesättigt	ja
Malachitgrün-Lösung	grün	gesättigt	ja

*Tabelle 1: mögliche Farbstoff-Lösungen nach [5]*

**Erklärung:** Die Einmachfolie besteht aus Cellulose und zeigt unter dem Elektronenmikroskop betrachtet eine schwammartige Struktur. Die Poren dieser Struktur haben eine Größe von ca. 2,7 bis 2,8 nm. Je nach Größe der Moleküle der Farbstofflösung können diese die Einmachfolie durchdringen oder nicht. Dextrin-Moleküle haben einen Durchmesser von maximal 20 nm, Stärkemoleküle sind noch um ein vielfaches größer. Aus diesem Grund können sie die Einmachfolie nicht durchdringen. Die anderen Farbstoffe haben dagegen Moleküldurchmesser von unter 3 nm und können die Membran durchdringen und somit das Wasser im Einmachglas verfärben. Diese unterschiedliche Durchlässigkeit der Einmachfolie für verschiedene Farbstoff-Lösungen könnte man in einem kontinuierlichen Modell der Materie nicht erklären.

## 8) Volumenreduktion beim Mischen von Wasser und Alkohol [6]

**Material:** 2 Messzylinder 50 ml, 1 Messzylinder 100 ml, Wasser, Alkohol (Spiritus)

**Durchführung:** Einer der beiden kleinen Messzylinder wird mit 50 ml Wasser befüllt, der andere mit 50 ml Alkohol. Dann werden die beiden Volumina im großen Messzylinder gemischt.

**Beobachtung:** Man erkennt, dass das Volumen des Gemisches nur mehr ca. 96 ml beträgt.

**Erklärung:** Die gängige Erklärung für diesen Versuch ist die Annahme von größeren und kleineren Teilchen, in einem kontinuierlichen Modell lassen sich die Beobachtungen nicht erklären. Dabei können die kleineren Teilchen die Lücken zwischen den größeren füllen und dadurch das Gesamtvolumen verringern. Dieses Argument wird noch zusätzlich durch einen Modellversuch mit Senfkörnern und Erbsen veranschaulicht. Der Grund für die Volumenkontraktion ist aber nicht das Füllen der Lücken zwischen den Teilchen, sondern die Längenänderung der bereits vorhandenen Wasserstoffbrückenbindungen [7]. Diese bilden sich zwischen dem partiell negativ geladenen Sauerstoffatom des Ethanol-Moleküls und dem partiell positiv geladenen Wasserstoffatom des Wassermoleküls. Durch diese Wasserstoffbrückenbindung kann sich der Abstand zwischen den Molekülen deutlich unterhalb des Van-der-Waals-Abstands verringern. Infolgedessen verringert sich auch das Gesamtvolumen des Gemischs.

## 9) Lösevorgang und Kristallisation [2]

**Material:** Mikroskop, Objektträger, Pipette, Uhrglas, Salz

**Durchführung:** Einige Salzkristalle werden auf den Objektträger gegeben und unter dem Mikroskop betrachtet. Dann löst man die Salzkristalle in etwas Wasser auf und gibt davon mit der Pipette einen Tropfen auf einen Objektträger und betrachtet das Salzwasser unter dem Mikroskop. Danach gibt man einige Tropfen aus der Pipette in das Uhrglas und wartet bis das Wasser verdunstet ist (kann durch Erhöhen der Temperatur beschleunigt werden).

**Beobachtung:** Unter dem Mikroskop erkennt man die kubische Struktur der Salzkristalle. Nachdem diese im Wasser aufgelöst wurden, ist keine Kristallstruktur mehr erkennbar, die Flüssigkeit schmeckt allerdings salzig. Wenn das Wasser verdunstet bilden sich wieder kleine Salzkristalle, welche unter dem Mikroskop (fast) gleich aussehen, wie die ursprünglichen Kristalle.

**Erklärung:** Die Tatsache, dass sich Kochsalz in Wasser lösen lässt und beim Verdunsten wieder dieselben Kristallformen entstehen, ist ein Hinweis auf die Teilchenstruktur der Materie. Die Anziehungskräfte zwischen den Na<sup>+</sup> und Cl<sup>-</sup> Ionen lassen immer wieder eine kubische Form entstehen. Dieses regelmäßige Kristallgitter ist nur im Teilchenmodell der Materie sinnvoll zu erklären.



**Abbildung 6:** Halit, Quelle: w?odi from Szczecin, Poland - Rock salt crystals, CC BY-SA 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3779800>

## 10) Schmelzen [2]

**Material:** Herdplatte, Reagenzglas, Becherglas, 2 Thermometer, Stativmaterial, Wasser, Eis, Kerzenwachs

**Durchführung:** Das Becherglas wird mit Wasser gefüllt und auf die Herdplatte gestellt. Das Reagenzglas wird mit dem Stativmaterial so befestigt, dass es in das mit Wasser gefüllte Becherglas hineinsteht. In beiden Gläsern wird ein Thermometer oder Thermolement befestigt. In das Reagenzglas gibt man dann Eis (alternativ Kerzenwachs) und erhitzt das Wasserbad mit der Herdplatte. Durch die parallele Temperaturmessung kann man gleichzeitig zwei Temperaturkurven erfassen.

**Beobachtung:** Vergleich man die beiden Temperaturkurven zeigt sich, dass beim Schmelzen des Stoff die Temperatur annähernd konstant ist, während sie im Wasserbad weiter steigt. Erst nach dem vollständigen Schmelzen steigt die Temperatur dann an.

**Erklärung:** Die Tatsache, dass die Temperatur während des Schmelzens annähernd konstant ist, lässt sich im Teilchenmodell erklären. Versteht man die Temperatur als durchschnittliche kinetische Energie der Teilchen, so wird diese durch die Wärmezufuhr konstant erhöht. Beim Phasenübergang wird die zugeführte Energie jedoch nicht zur weiteren Erhöhung der kinetischen Energie aufgewandt, sondern zur Überwindung von anziehenden Kräften zwischen den Teilchen. Die konstante Temperatur beim Schmelzen ist in einem kontinuierlichen Modell der Materie nicht erklärbar.

## 11) Verdunsten eines Duftstoffs [2]

**Material:** flache Schale oder Teller, aromatische Flüssigkeit (z.B. Ether oder Parfum)

**Durchführung:** Auf der Schale wird etwas von der Flüssigkeit verteilt und diese dann in die Ecke des Klassenraums gestellt.

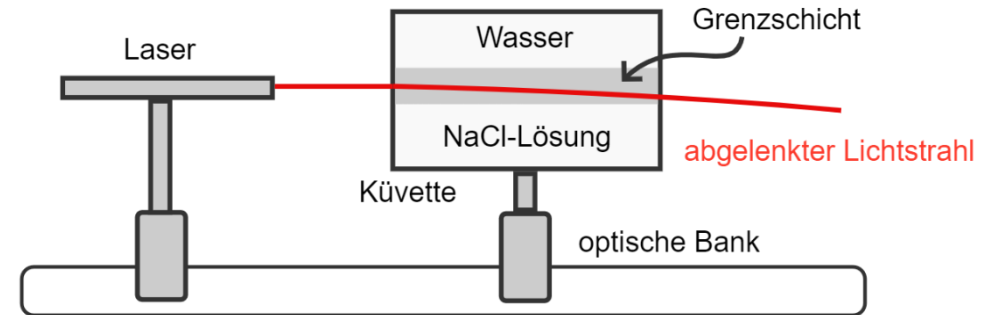
**Beobachtung:** Der Geruch beginnt sich im Laufe der Zeit im ganzen Raum zu verteilen. Sind die Schüler\*innen gleichmäßig im Raum verteilt, lässt sich die Verteilung recht gut Beschreiben, indem diese bekannt geben sobald sie etwas riechen.

**Erklärung:** Wenn Luftbewegungen durch Bewegung von Personen und Zugluft ausgeschlossen werden können, lässt sich die Ausbreitung der verdunsteten Flüssigkeit im Raum nur durch die ständige thermische Bewegung der Luftmoleküle erklären. Daher könnte man unter Annahme eines kontinuierlichen Modells der Materie keine schlüssige Erklärung für diesen Versuch finden.

## 12) Demonstration der Diffusion von Kochsalz in Wasser mit Hilfe eines Lichtstrahls [8]

**Material:** Laserpointer, Küvette 15 cm x 10 cm x 2 cm, optische Bank, Stativmaterial, Pipette, kleines Holzbrett (sollte möglichst genau in die Küvette passen), dünner Faden, Salz, Wasser, Milch

**Durchführung:** Zuerst wird eine gesättigte Kochsalzlösung hergestellt, indem man je 25-30 g Salz mit 100 ml Wasser vermischt. Dann wird die Küvette oder ein vergleichbares Gefäß zur Hälfte mit der Kochsalzlösung gefüllt. Das Holzbrett sollte so zugeschnitten werden, dass es etwas kleiner ist als die Küvette und möglichst genau in diese hineinpasst. Am Holzbrett werden Schnüre befestigt, mit Hilfe derer man dieses dann wieder aus der Küvette ziehen kann. Legt man das Holzbrett auf die Kochsalzlösung sollten die Fäden über den Rand der Küvette herausragen. Auf das Holzbrett tropft man dann vorsichtig mit der Pipette Wasser, sodass sich über der Kochsalzlösung eine Schicht reinen Wassers ausbildet. Entfernt man dann vorsichtig das Holzbrett, sollte eine möglichst scharfe Trennschicht zwischen Kochsalzlösung und Wasser vorhanden sein. In diese Trennschicht wird dann mit dem Laserpointer geleuchtet. Zur besseren Sichtbarkeit des Lichtwegs kann die Lösung mit einige Tropfen Milch getrübt werden.



**Abbildung 8:** Versuchsaufbau zur Demonstration der Diffusion von Kochsalz in Wasser

**Beobachtung:** Bei einer gut ausgebildeten Grenzschicht sollte der Lichtweg merkbar gekrümmt sein.

**Erklärung:** Die Ablenkung des Lichtstrahls beruht auf dem unterschiedlichen Brechungsindex von Kochsalzlösung und reinem Wasser. Durch Diffusion der  $\text{Na}^+$  und  $\text{Cl}^-$  Ionen der Kochsalzlösung in das reine Wasser verbreitert sich die Grenzschicht mit der Zeit und die Krümmung nimmt ab. Je weiter die Diffusion fortschreitet, desto flacher der Lichtweg. Diffusion ist nur unter Annahme eines Teilchenmodells möglich.

## 13) Der Edison-Effekt [2]

**Material:** Glühlampe (100W) inklusive Fassung, Amperemeter, Netzteil (230 V), Alufolie, Kabel, Stativ inklusive Klemme

**Durchführung:** Die Glühbirne wird in die Fassung geschraubt und an das Netzteil angeschlossen. Auf das Glasgehäuse der Lampe wird eine Kappe aus Alufolie gesetzt. Ein Kabel wird an der Stativklemme befestigt und so positioniert, dass es die Alufolie berührt. Dann wird das Amperemeter zu Alufolie und Lampenfassung in Serie geschaltet. Der Aufbau sollte zur Sicherheit auch noch geerdet werden. An die Glühlampe wird eine Spannung von 230 Volt angelegt.



**Beobachtung:** Nach dem Anlegen der Spannung lässt sich am Amperemeter eine sehr schwache Stromstärke im Mikroampere-Bereich messen.

**Erklärung:** Der Versuch soll zeigen, dass beim Erhitzen eines Metalldrahts negative Ladung frei gesetzt wird, wodurch ein schwacher Strom zwischen dem Draht und der Alufolie fließt. Dass diese Ladungsträger aus dem Metalldraht freigesetzt werden können, ist ein Indiz für den Aufbau der Materie aus Atomen. Die Freisetzung von diskreten Ladungsträgern aus einer kontinuierlichen Materie wäre jedenfalls kontraintuitiv.

#### 14) Diffusion bei einem mit CO<sub>2</sub> gefüllten Ballon [9]

**Material:** Luftballon, CO<sub>2</sub>-Zylinder (alternativ: Backpulver und Essig), großer durchsichtiger, verschließbarer Behälter aus Glas oder Kunststoff

**Durchführung:** Der Ballon wird nur wenig mit Luft aufgepumpt und in den Behälter gegeben. Der Behälter sollte deutlich größer als der Ballon sein. Danach wird der Behälter mit CO<sub>2</sub> befüllt und verschlossen.

**Beobachtung:** Beobachtet man den Ballon über eine Schulstunde hinweg stellt man fest, dass sich dieser immer weiter aufbläst bis er schließlich platzt.

**Erklärung:** CO<sub>2</sub> verfügt über eine sehr hohe Permeabilität durch die Latex-Membran des Luftballons. Die Moleküle werden vom Latex absorbiert und können so die Ballonhaut durchdringen. Aufgrund des Konzentrationsunterschieds zwischen dem Balloninneren und dem Behälter herrscht im Ballon ein geringerer Partialdruck, wodurch CO<sub>2</sub> in den Ballon diffundiert und diesen aufbläst. Diffusion ist nur unter Annahme eines Teilchenmodells möglich.

#### 15) Massenzunahme beim Aufblasen eines Fußballs [4]

**Material:** Fußball, Luftpumpe, Waage

**Durchführung:** Man legt den Fußball auf die Waage und beginnt ihn aufzupumpen.

**Beobachtung:** Mit jedem Pumpen bemerkt man, dass die Masse des Balls ein wenig zunimmt.

**Erklärung:** Auch wenn die Massenzunahme in einer kontinuierlichen Theorie ebenfalls erklärbar wäre, so verändern sich Druck und Temperatur beim Aufpumpen gemäß den Vorhersagen der kinetischen Gastheorie.

## Digitalisierte Experimente

<https://physikexperimentieren.uni-frankfurt.de/digitalisiert-archiv-2020/>

## Interaktive Bildschirmexperimente

<https://tetfolio.fu-berlin.de/web/1170296>

## Sammlung weiterer Experimente

[https://www.didaktik.chemie.uni-rostock.de/storages/uni-rostock/Alle\\_MNF/Chemie\\_Didaktik/Forschung/Sekundarstufe\\_I/Skript\\_Anfangsunterricht\\_Stand\\_September\\_2019.pdf](https://www.didaktik.chemie.uni-rostock.de/storages/uni-rostock/Alle_MNF/Chemie_Didaktik/Forschung/Sekundarstufe_I/Skript_Anfangsunterricht_Stand_September_2019.pdf)

## Literatur

- [1] Gómez, E. J., Benarroch, A., Marín, N., *Evaluation of the degree of coherence found in students' conceptions concerning the particulate nature of matter*. Journal of research in science teaching, 2006, **43** (6), S. 577–598.
- [2] Fischler, H., Rothenhagen, A., *Experimente zum Teilchenmodell*. Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 1997, 41, S. 27–33.
- [3] Sieve, B., *Modellversuch zur Teilchenvorstellung*. Naturwissenschaften im Unterricht Chemie, 2016, 153.
- [4] Harrison, A. G., Treagust, D. F., *Particles and matter: Problems in learning about the submicroscopic world*. In: Die Teilchenstruktur der Materie im Physik- und Chemieunterricht. Fischler, H. (Hrsg.), 2006, Logos-Verl.: Berlin, S. 53–76.
- [5] Wilms, M., *Schüler auf dem Weg ins Diskontinuum: Empirische Studien über die Entwicklung und Nachhaltigkeit eines ersten Teilchenkonzepts mithilfe von Schülerexperimenten*, 2011, Oldenburg: Didakt. Zentrum.
- [6] Lichtfeldt, M., Peuckert, J., *Die Behandlung der Dichte im Unterricht*. Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 1997, 41, S. 22–26.
- [7] Winkelmann, J., Behle, J., *Erklärt das Teilchenmodell die Volumenreduktion bei Mischversuchen?* In: Stolpersteine überwinden im Physikunterricht. Anregungen zu fachgerechten Elementarisierungen. Wilhelm, T. (Hrsg.), 2018, Aulis-Verl., S. 86–88.
- [8] Rothenhagen, A., Fischler, H., *Demonstration der Diffusion von NaCl in Wasser mit Hilfe eines gekrümmten Lichtstrahls*. Naturwissenschaften im Unterricht Physik, 1997, 41, S. 51–52.
- [9] Jadrich, J., Bruxvoort, C., *Investigating Diffusion and Entropy with Carbon Dioxide-Filled Balloons*. The Physics Teacher, 2010, **48** (6), S. 388–390.