

B4 Wir gewinnen Trinkwasser – Methoden der Wasserreinigung

Die vorgeschlagenen Teilexperimente eignen sich bestens, um in das chemische Grundlagenthema Stofftrennung anhand des aktuellen Themas Wasseraufbereitung einzusteigen. Ebenso können die Schülerinnen und Schüler auch ihre einschlägigen Vorkenntnisse am Beispiel dieser Experimente verifizieren. Im Biologieunterricht passen die Experimente zur Hinführung zum Thema Wasser als Lebensgrundlage. Natürlich können die Experimente auch fächerübergreifend z. B. im Rahmen eines Umweltprojekts eingesetzt werden.

1 Zentrale Fragestellung

Für viele Menschen ist es nicht selbstverständlich, täglich frisches und sauberes Trinkwasser zu haben. Trinkwasserknappheit ist eines der größten sozialen Probleme des 21. Jahrhunderts. Weltweit haben fast eine Milliarde Menschen keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser. Wie ist es möglich, dass ein Planet, der zu 2/3 mit Wasser bedeckt ist, seine Bewohner nicht mit ausreichend Trinkwasser versorgen kann? Das liegt unter anderem an der wachsenden Bevölkerung, regional klimatisch bedingtem Wassermangel und der Abholzung wasserspeichernder Wälder. Der Hauptgrund ist jedoch vielerorts die Verschmutzung natürlicher Wasserreserven (Flüsse, Seen und Grundwasser) durch Haushalte, Industrie und Landwirtschaft. Dass oftmals nicht einmal Grundwasser ohne Aufbereitung als Trinkwasser gebraucht werden kann, soll den Schülerinnen und Schülern bewusst gemacht werden. „Wie kann man aus verschmutztem Wasser Trinkwasser bereiten?“ ist die praxisnahe Thematik, bei der die Schülerinnen und Schüler in Gruppenexperimenten die Grundprinzipien und auch den Aufwand bei der technischen Umsetzung moderner Wasserreinigung kennen lernen sollen. Im Leitfaden „Naturwissenschaften, Technik und Werte“ finden Sie darüber hinaus Anregungen, wie Sie im Anschluss an das Experiment mit Hilfe von Impulsen Werte wie Eigenaktivität, Solidarität, Umweltbewusstsein und Nachhaltigkeit thematisieren können.

2 Einordnung des Experiments in den Unterrichtszusammenhang

2.1 Fachliche Grundlagen

Wünschenswerte, aber nicht zwingend notwendige Vorkenntnisse der Schülerinnen und Schüler (hier reichen Erfahrungen aus dem Alltag):

- Wasser als Lösungsmittel
- Wasser als „Lebensstoff“ für Mensch, Tier- und Pflanzenwelt
- Gewässerschutz (→ Gewässer als Lebensraum)

2.2 Lehrplanrelevanz

Altersstufe 12 – 15 Jahre

Im Chemieunterricht ist das Thema Stofftrennung und die Anwendung physikalischer Trennungsmethoden (→ Sieben, Sedimentieren, Dekantieren, Filtern) bei der Stofftrennung von Stoffgemischen (fest/flüssig) unverzichtbare Grundlage in allen Lehrplänen. Dazu kommen Themen wie die Löslichkeit von Stoffen, Lösung und Suspension, Emulsion, Osmose, chemische Fällungsreaktionen und die Kläranlage als Ort der Wasserreinigung.

Im Biologieunterricht ist das zentrale Thema Wasser als Lebensstoff (→ Stoffwechseltransport) und davon abgeleitet die Themen Zellaufbau (→ Membran) und Osmose. Biologische Umweltthemen sind der biologische Schadstoffabbau sowie Gewässerschutz und Trinkwasserschutz.

Mehr peripher sind die Überschneidungen mit dem Physikunterricht: Hierzu gehören Themen wie die Wirkungsweise von Filtern (→ Teilchengröße – Porengröße) und der Druck als Zustandsgröße in Gasen und Flüssigkeiten.

Themen und Begriffe: Abwasser, Dekantieren, Dichte, Druck, Farbstoff, Feststoffe, Filtrieren, Flüssigkeit, Geruchsstoff, Geschmacksstoff, Gewässerschutz, Ionische Lösung, Kläranlage, Lebensraum, Lebensstoff Wasser, Lösung, Lösungsmittel, Porengröße, Reinigungsprozesse, Schwebeteilchen, Sedimentieren, Sieben, Stoffgemische, Stofftrennung, Stoffwechsel, Suspension, Trennungsmethoden, Trinkwasser, Trinkwasserschutz, Van-der-Waals-Kräfte, Wasseraufbereitung, Wasserverschmutzung, Wechselwirkungskräfte (molekulare und atomare)

2.3 Kompetenzen

Die Schülerinnen und Schüler ...

- beschreiben ausgehend von eigenen praktischen Erfahrungen (z. B. Kaffeebrühen: Geschmack und Farbe werden extrahiert, der „Kaffeesatz“ jedoch zurückgehalten), dass Trennverfahren im Alltag eine wichtige Rolle spielen.
- erläutern die tragende Rolle von Wasser bei Trennverfahren.
- erörtern, dass unser Umgang mit Trinkwasser, in welcher Form auch immer, letztendlich Abwasser erzeugt.
- diskutieren, dass man im Alltag am umgekehrten Prozess – Trinkwasser aus Schmutzwasser – eher unbeteiligt ist.
- entwickeln ein Umweltbewusstsein.
- machen die verantwortliche Umgangsweise mit dem „Lebensstoff“ Wasser zum Beweggrund ihres sozialen Denkens und Handelns.

2.4 Das Experiment im Erklärungszusammenhang

In den Versuchen sollen die mechanischen Reinigungsprozesse von verschmutztem Wasser schrittweise mit immer feineren Verfahren praxisnah erklärt werden.

2.4.1 Teilexperiment 1: Grobe Reinigung des verschmutzten Wassers mit Quarzsand, Aktivkohle und Filterpapier

Teilexperiment 1 fängt an mit der groben Reinigung einer Mischung aus Tonerde, Tinte und Kochsalz durch Quarzsand und Filterpapier.

Hierbei wirkt der Sand wie ein feines Sieb zuerst einmal vor allem durch seine Porengröße. Während die Porengröße des „Papierfilters“ $> 10 \mu\text{m}$ ist, werden durch den Sandfilter Partikel und Schwebestoffe mit einer Größe von $> 0,1 \mu\text{m}$ zurückgehalten. Denn zusätzlich zur Porengröße von ca. $100 \mu\text{m}$ wirken beim Sandfilter auch noch Adhäsionskräfte (Wechselwirkungskräfte auf atomarer und molekularer Ebene, Stichwort Van-der-Waals-Kräfte). Wie gut die Filterwirkung im Experiment ist, hängt von der Schichtdicke und der Qualität des in den Trichter eingefüllten Quarzsandes bzw. von der Filtertüte ab. Man sieht, dass die meisten Schwebeteilchen herausgefiltert wurden, jedoch nicht die Farbstoffteilchen der Tinte. Um molekulare Stoffe wie Tinte zu beseitigen, muss man das Filtrat mit Aktivkohle ausschütteln. Diese wirkt praktisch nur aufgrund der Adsorption auf Farb-, Geschmacks- und Geruchsstoffe sowie auch auf Bakterien. Aufgrund der vielen Poren und der unglaublich kleinen Porengröße (1 bis 50 nm) addiert sich die Oberfläche dieser Poren auf das ca. 10.000-Fache im Vergleich zu massiver Kohle.

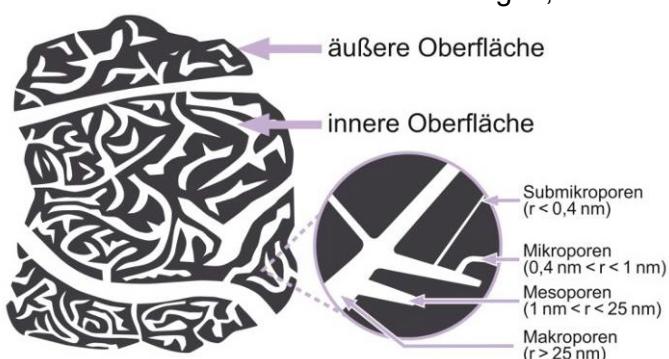


Abb. 1: Oberfläche (schematisch) der Aktivkohle.

Ein Gramm Aktivkohle hat somit eine innere Oberfläche von bis zu 1.000 m², also etwa einem Siebtel eines Fußballfeldes. Mit der anschließenden Leitfähigkeitsprüfung soll gezeigt werden, dass neben den mechanischen Reinigungsprozessen oft auch noch chemische Stoffe im Wasser gelöst sind (hier Kochsalzionen), die nur sehr aufwändig entfernt werden könnten.

Verfahren	Mikrofiltration (MF)	Ultrafiltration (UF)	Nanofiltration (NF)	Umkehrosmose (UO)
Filtermaterial	Organisches Material oder Keramik	Polyamide, Poly-sulfane, Celluloseacetate, PVdF (Polyvinylidenfluorid)	Homogene Polymerschichten	Homogene Polymerschichten
Porengröße	Im Mikrometer-Bereich 0,05 – 10 µm	Hundertstel von Mikrometern 0,005 – 0,15 µm	Im Nanometer-Bereich 0,7 – 10 nm	< 1 nm „Keine Poren“
Abtrennbare Stoffe	Plankton, Algen, Trübungen, Bakterien, suspendierte Partikel, Fasern, evtl. Proteine und größere Mikroorganismen (Amöben)	Makromoleküle, Viren, Kolloide, Bakterien	Organische Verbindungen, Ionen (zweiwertige), Farbstoffe, Pestizide und auch Herbizide	Moleküle und Ionen: Alkali- und Erdalkalischalte, aber auch Schwermetallionen und Alkohole sowie Zucker
Erforderliche Druckdifferenz	0,1 – 2 bar	0,1 – 5 bar	3 – 20 bar	10 – 100 bar
Beispiel	Nachbehandlung von gereinigtem Abwasser	Trinkwasser-aufbereitung (z. B. SkyHydrant)	Reinwasser-aufbereitung, Wasserenthärtung	Reinstwasseraufbereitung, Meerwasserentsalzung

Abb. 2: Membranfilter im Überblick.

Im Vergleich zu den in der Tabelle genannten Werten liegen das von uns verwendete Papierrundfilter bei einer Porengröße über 10 µm, die Membranfilterpatrone bei 0,2 µm und der Hohlfaser-membranschlauch bei 0,02 µm. Die Größe der blauen Farbstoffteilchen unserer Tinte liegt also offenbar teils über, teils unter 0,2 µm, ein Teil sogar unter 0,02 µm. Deshalb lässt sich der Farbstoffgehalt des Wassers mit unserer Filterpatrone und dem Membranschlauch zwar deutlich senken, aber nicht wirklich restlos entfernen.

2.4.2 Teilexperiment 2: Feinreinigung von Wasser mit Membranfilter

Die Tinte besteht aus einem Farbstoffgemisch verschiedener Molekülgrößen, sodass vom Membranfilter zwar ein Teil der Farbe, aber nicht alles entfernt würde. Wir verzichten deshalb aus Gründen didaktischer Eindeutigkeit auf die Tinte und arbeiten nur mit einer in Kochsalzlösung suspendierten Tonerde. Das Experiment ist im Prinzip recht einfach und bei sorgfältigem(!) Arbeiten völlig erfolgssicher. Schließlich werden diese Membranfilter millionenfach in Biochemie, Medizin und Pharmazie eingesetzt. Die in der Schüleranleitung vorgeschlagene, scheinbar umständliche Vorgehensweise ist jedoch zur Vermeidung von Luftblasen im Membranfilter unerlässlich. Steht nämlich Luft auf der feuchten Membran, lässt sich die Membran wegen der Kompressibilität der Luft mit den in der Spritze möglichen Drücken nicht wieder freidrücken. Das Filter wird undurchlässig und unbrauchbar. Wird richtig gearbeitet, erkennt man die enorme Filterwirkung und erhält eine klare Lösung. Die Verwendung von Membranfiltern erlaubt eine Mikrofiltration, die Partikelgröße liegt hier bei > 0,1 µm.

2.4.3 Teilexperiment 3: Feinreinigung von Wasser mit Hohlfasermembranfilter

Mit Ultrafiltration und Nanofiltration lassen sich mit Porengrößen bis zu 1 nm feinste Partikel wie Bakterien, Farbstoffmoleküle, Metall-Ionen und Viren zurückhalten. Diese Arten der Filtration verwenden meist Hohlfasermembranen. Die z. B. für Meerwasserentsalzung erforderlichen feinporigen Membranen benötigen jedoch sehr hohe Drücke (80 bar und mehr). Für unser Experiment können wir deshalb nur eine relativ grobporige Hohlfasermembran verwenden, mit der es nicht gelingt, die gelösten Natrium- und Chloridionen aus dem Wasser zu entfernen.

Wird das Verfahren der Nanofiltration auf salzhaltige (ionische) Lösungen angewandt, handelt es sich um Umkehrosmose. Bei diesem Verfahren wird unter Druck das salzige Wasser gegen eine extrem feinporige semipermeable Membran gepresst. Die Porengröße ist so, dass Wassermoleküle von ca. 0,28 nm durchpassen, die Salzionen aber zurückgehalten werden. (Die Salzionen sind zwar an sich kleiner als Wassermoleküle, durch ihre festgebundene Hydrathülle jedoch wesentlich größer). Anders als in unserem Versuch, wo wir im abgeschlossenen Hohlfasermembranschlauch Druck aufbauen, arbeiten moderne Entsalzungsanlagen im offenen Durchfluss. Der Druck ist aufgrund des geringen Durchmessers und der Länge der Fasern hoch genug, um die Wassermoleküle durch die Poren zu drücken. Der Vorteil: Durch den Durchfluss wird die Membran permanent vom nachfließenden Wasser gereinigt. Weltweit wird dieses Verfahren in Großanlagen in vielen Gegenden mit Trinkwassermangel zur Meerwasserentsalzung eingesetzt (Technikbezug).

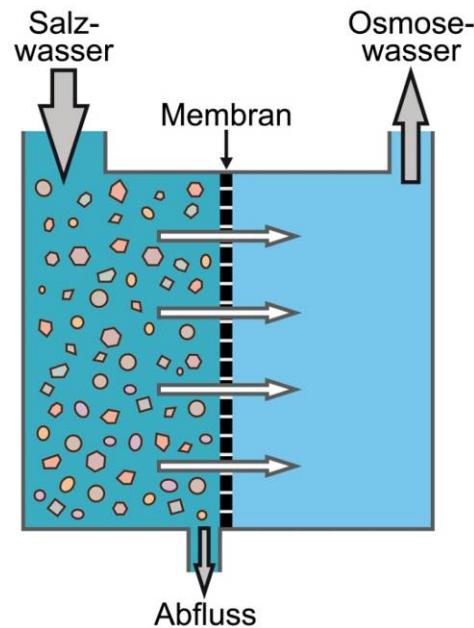


Abb. 3: Schema einer Umkehrosmose.

2.5 Durchführungsvarianten

- Die Schülerinnen und Schüler können bei allen Experimenten im Zweierteam arbeiten.
- Die Teilexperimente 2 und 3 können jedoch auch parallel in zwei Gruppen durchgeführt werden, sodass die Einzelteams dann in der Rest- oder Folgestunde im Unterricht ihr Expertenwissen aus den Versuchen der jeweils anderen Gruppe mitteilen können.
- Alle Versuche können mit der genannten Altersstufe durchgeführt werden, differenzieren kann die Lehrkraft dann hinsichtlich der Tiefe der Auswertung und der weiteren Fragestellung je nach Vorkenntnissen und Altersstufe.

3 Ergänzende Informationen zum Experiment

Zur Vorbereitung bzw. zur Vertiefung dieses Experiments finden Sie ergänzende Medien auf dem Medienportal der Siemens Stiftung: <https://medienportal.siemens-stiftung.org>

4 Hinweise zur Durchführung der Teilexperimente

4.1 Räumlichkeiten

Es sind keine besonderen Räumlichkeiten notwendig.

4.2 Zeitbedarf

	Vorbereitung	Durchführung	Auswertung	Besprechung
Teilexperiment 1	5 min	10 min	10 – 20 min je nach Tiefe	10 min
Teilexperiment 2	10 min	20 min	10 – 20 min je nach Tiefe	10 min
Teilexperiment 3	5 min	20 min	10 – 20 min je nach Tiefe	10 min

4.3 Sicherheitsaspekte

Die Versuche dürfen nur bei Anwesenheit und unter Aufsicht der Lehrkraft durchgeführt werden. Die Schülerinnen und Schüler sind darauf hinzuweisen, dass die bereitgestellten Materialien nur entsprechend den jeweiligen Anweisungen eingesetzt werden dürfen.

Bei diesen Experimenten achten Sie bitte auf folgende mögliche Gefahren und machen Sie auch Ihre Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam:

- Es muss darauf geachtet werden, dass der Akku nicht kurzgeschlossen wird. Es besteht Explosions- und Brandgefahr!
- Stellen Sie sicher, dass keine Schäden an wasserempfindlichen Materialien und Geräten entstehen können.

4.4 Benötigte Materialien

Die richtige Verkabelung und die richtige Benutzung der LED sollten je nach Kenntnisstand der Schülerinnen und Schüler von der Lehrkraft vorab erklärt, ggf. demonstriert werden.

Für eine Schülergruppe werden folgende Materialien benötigt:

Material	Anzahl
Akku, 9 V	1
Aktivkohle, Dose	1 für die ganze Klasse
Becher, 100 ml	4
Becher, 500 ml	2
Einweghahn (passend zu Schlauch 7/4mm und Luer Lock)	1
Filterpapier (Rundfilter), 12,5 cm	1
Filterpatrone (Membranfilter) mit Luer Lock	1
Hohlfasermembran mit Luer Lock	1 für die ganze Klasse
Kaffeelöffel oder Spatel	1
Kochsalz	1 für die ganze Klasse
LED rot (rotes Gehäuse), 5 V	1
Nagel (Stahl, „Eisen“), als Elektrode	2
Quarzsand („Filtersand“)	1 für die ganze Klasse
Schraubdeckel (für Becher 100 ml)	4
Spritze Luer Lock, 10 ml	1 – 2
Spritze Luer Lock, 50 ml	1
Tinte, blau („Aquatint“)	1 für die ganze Klasse
Tonerde („Bentonit“)	1 für die ganze Klasse
Trichter	1
Verbindungskabel Kroko/Kroko	6
Wasser	nach Bedarf



Abb. 4: Geräte bzw. Materialien für eine Schülergruppe, beispielhafte Abbildung.

4.5 Aufräumen, Entsorgen, Recyceln

Fast alle verwendeten Geräte und Materialien sind wiederverwendbar. Daher sollten sie nach Beendigung des jeweiligen Experiments ordentlich aufgeräumt werden. So stellen Sie sicher, dass Sie bzw. Ihre Kolleginnen und Kollegen beim nächsten Einsatz alles schnell wiederfinden.

Geräte, die beim Experimentieren verschmutzt wurden, wie z. B. Becher, Schalen, Löffel, Reagenzgläser, sollten vor dem Zurücklegen erst gereinigt werden. Sinnvollerweise lässt man dies die Schülerinnen und Schüler gleich nach Beendigung des Experiments erledigen.

Stellen Sie zudem sicher, dass die Geräte wieder für den nächsten Einsatz betriebsbereit sind. Beispielsweise sind benutzte Akkus gleich aufzuladen (Auch bei längerer Nichtbenutzung ist das Aufladen der Akkus sinnvoll.).

Materialien, die nicht wiederverwendbar sind, wie z. B. gebrauchte pH-Messstäbchen oder Filterpapier, sollten fachgerecht entsorgt werden.

Die Entsorgung der in diesem Experiment anfallenden Abfälle kann über den normalen Hausmüll bzw. den Ausguss erfolgen.