

Physik und Chemie des Wassers

In diesem Leitfaden erhalten Sie einen Überblick über den inhaltlichen und didaktischen Zusammenhang der Medien des Medienpakets „Physik und Chemie des Wassers“.

1 Didaktisch-pädagogische Hinführung

1.1 Motivation für das Thema

Wasser ist Teil der alltäglichen Lebenswelt eines jeden Menschen. Gerade durch die Auseinandersetzung mit den physikalischen und chemischen Eigenschaften dieses Stoffes erschließt sich den Schülerinnen und Schülern die überragende Bedeutung des Wassers für das Leben auf der Erde.

Die stofflichen Eigenschaften des Wassers werden gleichermaßen im Physik- und Chemieunterricht der 8. und 9. Klassenstufe behandelt. Im Physikunterricht liegt dabei ein Schwerpunkt auf den thermodynamischen Eigenschaften des Wassers (Aggregatzustände, Phasenübergänge). Der Chemieunterricht behandelt vorrangig die atomare Struktur des Wassermoleküls und der daraus resultierenden chemischen Eigenschaften. Gerade die Molekülstruktur liefert die Erklärung für die teilweise anomalen physikalischen Eigenschaften des Wassers, weshalb sich das Thema also bestens für einen fächerverbindenden Unterricht eignet.

Allgemein wird im Physikunterricht der Klasse 8 der Aufbau von Materie und ihr Verhalten bei Energiezufuhr untersucht. Gegenstand sind die dabei auftretenden Phasenübergänge (Schmelzen, Verdampfen etc.) in Abhängigkeit von äußeren Parametern wie Volumen, Temperatur oder Druck. Der Stoff „Wasser“ verdient hierbei ein besonderes Augenmerk, da er sich teilweise anders als andere Stoffe verhält (z. B. Dichteanomalie). Die Phänomene werden an-hand des Teilchenmodells erklärt (Aufbau der Materie, Innere Energie).

Der Chemieunterricht der Klasse 9 beschäftigt sich mit dem räumlichem Bau der Moleküle und deren Wechselwirkungen untereinander (Dipol-Dipol-Kräfte, Wasserstoffbrücken, Van-der-Waals-Kräfte). Daraus werden die Eigenschaften eines Stoffes (z. B. als Lösungsmittel) abgeleitet und die Auswirkungen zwischenmolekularer Kräfte auf die Mischbarkeit von Stoffen vermittelt. Wasser nimmt hierbei eine Sonderstellung ein.

Das Thema Wasser findet man auch in höheren Klassenstufen immer wieder (z. B. Physik: Wasser als Arbeitsmittel in Wärmekraftmaschinen; Chemie: Hydratation und Bildung von Wasserkomplexen), weshalb es besonders wichtig ist, die stofflichen Eigenschaften des Wassers von Anfang an fundiert zu erlernen.

Ein Verständnis der stofflichen Eigenschaften des Wassers ist auch für den Biologieunterricht (z. B. Diffusion und Osmose in Zellen) und Geografieunterricht (Wasserkreislauf) Voraussetzung.

1.2 Medienauswahl

Das vorliegende Medienpaket umfasst 27 Medien.

Aufgrund der stark naturwissenschaftlichen Ausrichtung des Themas sind viele Diagramme vorhanden, die die physikalischen Eigenschaften in Form von Zahlen und Abhängigkeiten widerspiegeln. Grafiken und Simulationen veranschaulichen Molekülstrukturen. Über einen inter-aktiven Test können die Schülerinnen und Schüler sogar selbst Molekülbindungen (genauer Wasserstoffbrücken) bauen.

Einen wichtigen Beitrag zur Verinnerlichung der Zusammenhänge leisten Experimente. Diese sind hier – den Klassenstufen 8 und 9 entsprechend – als einfache Freihandexperimente konzipiert und führen die Schülerinnen und Schüler an das „echte“ Experimentieren, wie es in höheren Klassenstufen erfolgt, heran.

Vertiefende Informationen werden in Form von Sachinformationen und ausgewählten Websites zur Verfügung gestellt.

1.3 Hintergrundinformationen für die Lehrkraft

Der vorliegende Leitfaden erläutert die zahlreichen Facetten der einzelnen Themen des Medienpakets und schlägt verschiedene Einsatzmöglichkeiten der Medien im Zusammenhang vor. Natürlich können die Medien des Pakets auch einzeln und völlig unabhängig voneinander streng nach Fachbezug eingesetzt werden. Doch lebendiger wird der Unterricht sicher im Zusammenhang, denn es besteht so die Chance, das Interesse am fachlichen Detail zu wecken. Zu diesem Zweck empfiehlt sich die Erarbeitung des Themas in einem fächerverbindenden Unterricht (Physik und Chemie) in folgenden Schritten:

- Wasser – ein Stoff mit ungewöhnlichen physikalischen Eigenschaften:
Aggregatzustände und Phasenübergänge (Einstieg über Phänomenologie, Temperatur- und Druckabhängigkeit der Phasenübergänge, Phasenübergänge brauchen Energie, Phasenübergänge speichern Energie, Sonderfall: Verdunstung)
Dichteanomalie
Weitere physikalische Eigenschaften
- Wasser – eine besondere Chemikalie:
Molekülstruktur
Wasser als Lösungsmittel
Herstellung und Zerlegung von Wasser

2 Wasser – ein Stoff mit ungewöhnlichen physikalischen Eigenschaften

2.1 Aggregatzustände und Phasenübergänge

2.1.1 Einstieg über Phänomenologie

Einfache Schüler-Experimente zu den physikalischen und chemischen Eigenschaften von Wasser, die aus dem täglichen Leben bekannt sind, ermöglichen einen praxisbezogenen Einstieg in das Thema und können helfen, den Wissensstand der Schülerinnen und Schüler abzufragen.

Medium	Experimentieranleitung „Experimente zur Physik und Chemie des Wassers“
--------	--

2.1.2 Temperatur- und Druckabhängigkeit der Phasenübergänge

Wasser tritt als einzige Substanz ohne menschliches Zutun in allen möglichen physikalischen Zustandsformen („Aggregatzustände“) auf:

- fest, z. B. als Schnee oder Eis
- flüssig, z. B. als Regen, Tautropfen, Oberflächenwasser, Nebel
- gasförmig, z. B. als unsichtbarer Wasserdampf in der Luft.

Aus dem täglichen Leben wissen die Schülerinnen und Schüler, dass die verschiedenen Aggregatzustände des Wassers ineinander übergehen können: Eis schmilzt bei 0 °C und wird flüssig, Wasser kocht bei 100 °C und verdampft. (Interessant ist an dieser Stelle für die Schülerinnen und Schüler sicher auch der Hinweis, dass über die genannte Schmelz- und Siedetemperatur des Wassers die Celsius-Temperaturskala definiert ist.)

Was wohl nicht alle wissen, ist, dass eine Schmelztemperatur von 0 °C und eine Siedetemperatur von 100 °C nur für reines Wasser und unter Atmosphärendruck (1.013 hPa) gelten. Auf dem Mount Everest (also in fast 9.000 Meter Höhe) kocht Wasser schon bei ca. 70 °C.

Wann Wasser schmilzt oder siedet, hängt also nicht nur von der Temperatur ab, sondern auch vom Umgebungsdruck und der Zusammensetzung des Wassers (siehe z. B. Streusalz im Winter). Die Schülerinnen und Schüler lernen, dass man diese Abhängigkeiten in einem sog. „Zustandsdiagramm“ oder auch „Phasendiagramm“ darstellen kann und wie man diese Diagramme interpretiert (z. B. Erkennen der Schmelzkurve oder Bestimmung des Tripelpunkts).

Medium Diagramme „Dampfdruckkurve und Phasendiagramm von Wasser“

Exkurs: In der Technik verwendet man sog. Dampfdrucktabellen, die Auskunft darüber geben, unter welchem Druck und bei welcher Temperatur Wasser dampfförmig ist. Anwendung finden diese Werte dann z. B. bei der Konstruktion und dem Betrieb von Dampfturbinen. In einer Dampfturbine verwendet man Wasserdampf als Arbeitsmittel zur Umwandlung von thermischer in mechanische Energie.

Praxisbezug: Den Sachverhalt, dass Eis nicht nur durch Temperaturerhöhung, sondern bei gleich bleibender Temperatur auch durch Druckerhöhung geschmolzen werden kann, erkennt man am Beispiel „Schlittschuhlaufen“.

Medium Simulation „Phasenumwandlung durch Druck“

2.1.3 Phasenübergänge brauchen Energie

Um die Umwandlung von einem Aggregatzustand in einen anderen (sog. „Phasenübergang“) herbeizuführen, muss generell einem Stoff Energie (z. B. als Wärme) zugeführt oder entzogen werden. Im Experiment lässt sich beobachten, dass z. B. beim Schmelzen von Eis die Temperatur so lange unverändert bleibt, bis alles Eis geschmolzen ist. Die Wärmezufuhr führt also beim Schmelzen nicht zu einer Temperaturerhöhung („latente Wärme“). Erst wenn alles Eis geschmolzen ist und weiterhin Wärme zugeführt wird, steigt die Temperatur wieder an:

Medium Diagramm „Anregungsenergie eines Wassermoleküls“

Hinweis: In diesem Zusammenhang sollten auch die Begriffe „Schmelzwärme“ und „Verdampfungswärme“ (Arten von „latenter Wärme“) eingeführt werden.

Die Erklärung für die latente Wärme liefert die Molekülstruktur (siehe Chemie, Kapitel 3.1): Beim eigentlichen Phasenübergang wird die Energie dazu benötigt, alle Bindungen zwischen den Molekülen aufzubrechen. Erst wenn dies erfolgt ist, kann die Energie in eine Erhöhung der Bewegungsenergie der Moleküle fließen, d. h. die Temperatur steigt. Eine Simulation veranschaulicht diesen Prozess:

Medium Simulation „Energiespeicherung und -freisetzung am Beispiel Wasser“

Hinweis für einen Vergleich des Diagramms und der Simulation: Die Temperaturskala im Diagramm ist in Kelvin angegeben, in der Simulation in Celsius! Ferner sind im Diagramm die Werte pro Molekül, in der Simulation pro Stoffmenge (mol) angegeben

Neben dem Verdampfen und Schmelzen gibt es noch andere Möglichkeiten für Phasenübergänge. Hierfür eignet sich wieder das Beispiel Wasserkreislauf, da alle möglichen Phasenübergänge bei Wasser in der Natur auftreten:

- fest/flüssig: schmelzen und erstarren
- fest/gasförmig: sublimieren
- flüssig/gasförmig: verdampfen und kondensieren

Ein anschauliches Beispiel für das natürliche Vorkommen der verschiedenen Aggregatzustände von Wasser und die möglichen Phasenübergänge bietet der natürliche Wasserkreislauf. Das Medienpaket enthält hierfür unterschiedliche Medien, die sowohl die theoretische als auch die praktische Auseinandersetzung mit dem Thema unterstützen.

Medien	Grafik, interaktiv „Der natürliche Wasserkreislauf“ Zuordnungsaufgabe „Der natürliche Wasserkreislauf“ Multiple-Choice-Test „Versuch zum Wasserkreislauf“
--------	---

2.1.4 Phasenübergänge speichern Energie

Die Wärmemenge, die man dem Wasser beim Schmelzen zuführen muss, wird umgekehrt beim Erstarren wieder frei. Diese Tatsache kann man nutzen, um Wasser als Speicher für Wärmeenergie zu nutzen. Eine Sachinformation informiert ausführlich darüber, ebenso über Wasser als mechanischen und chemischen Energiespeicher (Wasserstoffsynthese).

Medium	Sachinformation „Wasser als Energiespeicher“
--------	--

2.1.5 Sonderfall: Verdunstung

Beim Verdunsten findet der Phasenübergang flüssig nach gasförmig statt, allerdings unterhalb der Siedetemperatur.

Die Verdunstung spielt in unserem täglichen Leben eine wichtige Rolle, z. B. beim Schwitzen, Wäschetrocknen oder beim Wasserkreislauf in der Natur. Eine Simulation zeigt das Prinzip, ein passendes Arbeitsblatt dazu dient der Wissenskontrolle und kann z. B. als Hausaufgabe ausgeteilt werden:

Medien	Simulation „Der Verdunstungsvorgang“ Arbeitsblatt, druckbar „Der Verdunstungsvorgang“ mit Lösungsblatt
--------	---

Alternativ können die Schülerinnen und Schüler das Prinzip der Verdunstung auch experimentell erfahren und verstehen lernen:

Medium	Experimentieranleitung „Verdunstung bei Pflanzen“
--------	---

Expertenfrage: Woher stammt die Energie, damit die Wassermoleküle die Flüssigkeit verlassen können, wenn nicht aus einer Wärmezufuhr bis zum Siedepunkt?

2.2 Dichteanomalie

Normalerweise nimmt die Dichte (= Masse / Volumen) eines Stoffes mit abnehmender Temperatur zu. Beim Wasser ist das offenbar anders, denn Eis („festes Wasser“) schwimmt ja bekanntlich auf flüssigem Wasser, es ist also leichter.

Der Grund dafür ist, dass die Dichte von Eis kleiner als die von flüssigem Wasser ist. Wasser hat seine größte Dichte bei 4 °C: Hier entspricht das Volumen von 1 cm³ fast genau der Masse 1 g, die Dichte ist also 1 g/cm³. Bei Temperaturen darunter oder darüber ist die Dichte jeweils kleiner!

Medium Simulation „Dichteanomalie des Wassers“

Der große Dichtesprung tritt genau um den Gefrierpunkt des Wassers bei 0 °C auf, dabei nimmt die Dichte jedoch nicht zu, sondern entgegen den Erwartungen ab. Um das „anomale“ Verhalten des Wassers zu verdeutlichen, lohnt ein Vergleich mit einem anderen Stoff, z. B. Benzol.

Medium Diagramm „Temperaturabhängigkeit der Dichte“

Hinweise:

- Bekannte Alltagsphänomene, die auf der Dichteanomalie beruhen, sind: Eisberge, die im Meer schwimmen; gefrorene Wasserleitungen, die platzen; Gesteine mit Wassereinschlüssen, die bei Frost gesprengt werden.
- Die Dichteanomalie des Wassers ist von zentraler Bedeutung für das Leben auf der Erde. Zusammen mit der geringen Wärmeleitfähigkeit des Eises ist sie z. B. dafür verantwortlich, dass Gewässer von der Oberfläche her zufrieren. Wasserorganismen haben dadurch die Chance, am Grund des Gewässers zu überleben.
- Wasser ist wohl der bekannteste Vertreter für eine Dichteanomalie, es gibt sie aber auch bei anderen Stoffen, z. B. beim chemischen Element Silizium oder bei der Verbindung Zinkcyanid.

Die Erklärung für die Dichteanomalie des Wassers liefert letztlich die Molekülstruktur und das Dipolmoment des Wassermoleküls: Beim Gefrieren bilden sich die Wasserstoffbrücken aus, die bezüglich Bindungswinkeln, Raumbedarf und Anziehung gegenpoliger und Abstoßung gleichpoliger Ladungen am günstigsten ist. Daraus resultiert letztlich im gefrorenen Zustand eine Sechsringstruktur, die einen größeren Raumbedarf hat als sechs einzelne Wassermoleküle im flüssigen Zustand. Das gefrorene Wasser ist damit „weniger dicht“ (siehe Simulation).

2.3 Weitere physikalische Eigenschaften

Gegenstand dieses Medienpakets sind in erster Linie die thermodynamischen Eigenschaften des Wassers. Daneben hat Wasser aber noch viele weitere physikalische Eigenschaften, auf die aber hier nicht genauer eingegangen werden kann. Einige Beispiele:

- Mechanische Eigenschaften: Oberflächenspannung, Schweredruck von Wasser (Archimedisches Prinzip), Wasser als Träger potentieller und kinetischer Energie
- Optische Eigenschaften: Brechung des Lichtstrahls beim Übergang von Luft nach Wasser.
- Elektrische Eigenschaften: Reines Wasser leitet elektrischen Strom nicht. Die Leitfähigkeit kommt erst durch Verunreinigungen zustande.

3 Wasser – eine besondere Chemikalie

3.1 Molekülstruktur

Wasser ist kein Element, sondern eine chemische Verbindung, die aus einem Sauerstoffatom (O) und zwei Wasserstoffatomen (H) besteht (H₂O, „Wasserstoffoxid“).

Eine interaktive Grafik zeigt das Wassermolekül als Kugelmodell (Teilchenmodell) und benennt die wesentlichen Eigenschaften des Wassermoleküls: Längenabmessungen, Bindungswinkel, Elektronenkonfiguration und Ladungsverteilung.

Medium Grafik, interaktiv „Das Wassermolekül“

Hinweis: Die Schülerinnen und Schüler sollten darauf hingewiesen werden, dass auch Isotope von Wasserstoff und Sauerstoff Wassermoleküle bilden können. Am bekanntesten ist wohl das „schwere“ Wasser, bei dem das Sauerstoffatom eine Verbindung mit zwei Deuteriumatomen (D₂O) eingeht.

Über die Ladungsverteilung kann zum Dipolmoment hingeführt werden: Aufgrund der unterschiedlichen Elektronegativität von Wasser- und Sauerstoff, ist die H–O-Bindung polarisiert, d. h. die Bindungselektronen sind näher am Sauerstoff lokalisiert, der dadurch partiell negativ geladen ist. Der Wasserstoff ist partiell positiv geladen.

Medium Grafik „Dipolbildung“

Das Dipolmoment des Wassermoleküls ist die Voraussetzung für die Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Wassermolekülen. Zur Veranschaulichung der Wasserstoffbrücken bietet das Medienportal eine erklärende Grafik.

Medium Grafik „Geometrie der Wasserstoffbrücken bei H₂O“

Die Wasserstoffbrücken bestimmen einige wichtige Eigenschaften des Wassers: Die Dichteanomalie, den flüssigen Aggregatzustand und den relativ hohen Siedepunkt. Zur Vertiefung des Themas ist eine Sachinformation vorhanden.

Medium Sachinformation „Wasserstoffbrückenbindungen des Wassers“

Hinweis: Lohnenswert ist auch ein Vergleich der Verbindungen, die Wasserstoff mit dem Sauerstoff benachbarten Elementen, z. B. Stickstoff (N) oder Fluor (F), eingehen kann. Diese „Hydride“ sind meist gasförmig und toxisch.

3.2 Wasser als Lösungsmittel

Aufgrund des Dipolcharakters der Wassermoleküle ist Wasser ein Lösungsmittel für ionische und polare Stoffe! Dadurch, dass die Ionen von den Dipolmolekülen des Wassers umhüllt werden („Hydratation“), ist z. B. die Lösung in vielen Salzen mit einem Energiegewinn verbunden (Lösungswärme).

Ein Diagramm zeigt die Löslichkeit (in Abhängigkeit von der Temperatur) von festen und gasförmigen Stoffen in Wasser im Vergleich:

Medium Diagramm „Wasser als Lösungsmittel für Salze und Gase“

Die große Bedeutung, die dem Wasser als Lösungsmittel in der Biologie und Ökologie zukommt, erläutert die Sachinformation. Das Erlernete kann anhand eines interaktiven Lückentexts vertieft werden.

Medien Sachinformation „Bedeutung des Wassers als Lösungsmittel“
Lückentext „Bedeutung des Wassers als Lösungsmittel“

Das Lösungsverhalten von Wasser ist verantwortlich dafür, dass Wasser in Reinform selten in der Natur zu finden ist. Deshalb können nur ca. 0,3 % des Süßwassers der Erde direkt als Trinkwasser genutzt werden. Das führt natürlich schnell zur Problematik: Gibt es für alle genug Wasser? Wie kann der Rest des Wasservorkommens nutzbar gemacht werden? Die Schülerinnen und Schüler können sich experimentell mit dem Thema auseinandersetzen:

Medium Experimentieranleitung „Experimente zur Behebung von Wassermangel“

Auch die Verschmutzung des Wassers geht auf dieses Lösungsverhalten zurück: Vor allem Schmutz- und Schadstoffe aller Art sind darin lösbar, angefangen bei Fäkalien, Nitratverbindungen bis hin zu Schwermetallen.

Anhand von einfachen Experimenten können die Schülerinnen und Schüler selbst herausfinden, wie Verschmutzungen aus dem Wasser wieder entfernt werden können.

Medium Experimentieranleitung „Experimente zur Wasseraufbereitung“

3.3 Herstellung und Zerlegung von Wasser

Im Labor kann man Wasser über die sog. „Knallgasreaktion“ aus Wasserstoff und Sauerstoff herstellen. Ferner entsteht Wasser als „Abfallprodukt“ bei vielen chemischen Reaktionen, z. B. bei der Verbrennung von Motorkraftstoffen. Da allerdings mehr als zwei Drittel der Erdoberfläche mit Wasser bedeckt sind, ist eine synthetische Herstellung von Wasser eher von theoretischem Interesse. Viel wichtiger als die Synthese von Wasser ist heutzutage die „Zerlegung“ von Wasser. Diese kann man z. B. mittels elektrischen Stroms durchführen („Elektrolyse“). Das große Interesse gilt dabei dem elementaren Wasserstoff als Reaktionsprodukt, da dieser in der Natur nicht vorkommt. Nun ist es aber gerade dieses Element, das die Energieversorgung der Menschheit für die Zukunft sicherstellen soll – sowohl als Energieträger (Brennstoffzelle) als auch als Energiespeicher (z. B. für Energie aus Photovoltaik).

Medien Simulation „Wasserstofferzeugung mit Solarenergie“
Infomodul „Funktionsprinzip der Brennstoffzelle“

Hinweis: Auf dem Medienportal der Siemens Stiftung gibt es zahlreiche weitere Medien zum Thema Wasser.