

Die Anomalie des Wassers

Günther Lohmer, Leverkusen

Wie können Fische im Winter überleben, obwohl der See zugefroren ist?¹ Warum platzen Wasserflaschen im Gefrierschrank?² Wasser ist eine Flüssigkeit mit ganz besonderen Eigenschaften. Finden Sie gemeinsam mit Ihren Schülern heraus, was Wasser so einzigartig macht.



Gemeiner Wasserläufer

I/C

Der Beitrag im Überblick

Klasse: 7/8

Dauer: 4–5 Stunden

Ihr Plus:

- ✓ Experimente
- ✓ Fächerübergreifende Einheit (Chemie)

Inhalt:

- Allgemeine Eigenschaften von Wasser: Wasser hat eine Haut; Eis braucht Platz.
- Erklärung für die Anomalie des Wassers
- Aggregatzustände und Teilchenmodell
- Wassermolekül als ein Dipol
- Anomalie des Wassers und ihre Folgen

¹ Vgl. M 3 unten

² Wasser dehnt sich beim Gefrieren aus.

Fachliche und didaktisch-methodische Hinweise

Wasser ist die einzige Verbindung, die in allen drei Aggregatzuständen in der Natur vorkommt. Im Gegensatz zu anderen Stoffen und Flüssigkeiten dehnt sich Wasser bei Temperaturen unter 4 °C aus. Warum das so ist und welche Folgen dies für unseren Alltag hat, beschreibt dieser Beitrag.

Einstieg und thematischer Überblick

Der Einstieg in das Thema „Die Anomalie des Wassers“ gelingt Ihnen mit Material **M 1**. In Form einer **Pinnwand** mit mehreren Teilinformationen erhalten Ihre Schüler einen ersten allgemeinen Überblick über die Eigenschaften des Wassers. Sie erstellen daraus selbstständig einen **Steckbrief** zu den wichtigsten Charakteristiken des Wassers. Das Teilchenmodell lernen Ihre Schüler in Material **M 2** kennen. Sie erfahren, dass Stoffe aus Atomen oder Molekülen bestehen, die je nach Aggregatzustand unterschiedlich dicht beieinander liegen. Das Verständnis des Teilchenmodells ist die Basis, um zu verstehen, warum sich die Dichte von Wasser mit der Temperatur ändert. Zur Dichte-Temperaturabhängigkeit finden Sie ein Diagramm auf **CD-ROM 38**. Material **M 3** thematisiert den chemischen Aufbau von Wasser. Es werden die Begriffe „**Dipol**“ und „**Wasserstoffbrückenbindung**“ erklärt, die letztendlich für die Anomalie des Wassers verantwortlich sind. Im Rahmen eines Experimentes **M 5** lernen Ihre Schüler die **Oberflächenspannung** von Wasser als weitere Besonderheit kennen. Aufbauend auf dem erworbenen Wissen, entdecken die Lernenden in einem weiteren Experiment **M 6**, dass Eis mehr Platz als Wasser benötigt. Das **Glossar** am Ende der Einheit gibt einen schnellen Überblick über die in der Lerneinheit verwendeten Fachbegriffe.

Tipp zur Ermittlung des Kenntnisstandes Ihrer Klasse

Das **Glossar** können Sie vorab zur Ermittlung des Leistungsstands der Klasse verwenden. Dazu erhalten die Schüler nur die im Glossar aufgeführten **Fachbegriffe** und schreiben die Bedeutung auf ein separates Blatt.

Alltagsbezug

Das Material **M 2** beschreibt die drei Aggregatzustände von Wasser, die alle Schüler kennen. In Material **M 5** wird das Thema Oberflächenspannung behandelt. Wasser hat eine Haut. Ohne den Zusatz von Spülmitteln (**Tensiden**) würden wir eine fettige Pfanne oder unsere Kleidung nicht sauber spülen können. Tenside setzen die Oberflächenspannung des Wassers herab und sorgen somit dafür, dass das Wasser die Pfanne oder die Kleidung benetzen kann. Das Experiment **M 6** zeigt, dass Eis mehr Platz benötigt als Wasser und welche Konsequenzen daraus resultieren. Ferner gibt das Experiment einen anschaulichen Einblick in die Thematik des **Klimawandels** und dessen Folgen für den Meeresspiegel.

Nutzen Sie diese praktischen Anknüpfungspunkte für Ihren Unterricht.

Stärkung der sozialen Kompetenz und nachhaltiges Lernen

Schülerversuche in Kleingruppen stärken die soziale Kompetenz der Lernenden und sorgen dafür, dass der Unterrichtsinhalt nachhaltig haften bleibt. Verständnisfragen gepaart mit Rechercheaufgaben sichern den dauerhaften Lernerfolg. Ihre Schüler benutzen Fachbegriffe, argumentieren wissenschaftlich, stellen Wenn-Dann-Beziehungen auf. Ferner ziehen sie selbstständig ihr Vorwissen aus dem Unterricht zur Problemlösung heran. Bei der Durchführung der Experimente im Team dokumentieren Ihre Schüler ihre Arbeitsergebnisse in Form von Protokollen. Durch den Bezug zum Alltag der Schüler bleibt das Gelernte nachhaltig in ihrem Gedächtnis haften.

Materialübersicht

⌚ V = Vorbereitungszeit SV = Schülerversuch Ab = Arbeitsblatt/Informationsblatt
 ⌚ D = Durchführungszeit LV = Lehrerversuch Fo = Folie

M 1	Ab	Allgemeine Eigenschaften von Wasser
M 2	Ab	Die Dichte von Wasser anhand des Teilchenmodells verstehen
M 3	Ab	Wasser – die chemischen Grundlagen + Tippkarten
M 4	Fo	Phänomene, die auf der Anomalie des Wassers beruhen
M 5	Ab / SV	Die Oberflächenspannung des Wassers
	⌚ V: 10 min	<input type="checkbox"/> 1 Becherglas à 250 ml
	⌚ D: 10 min	<input type="checkbox"/> 1 Pfefferstreuer mit gemahlenem Pfeffer
		<input type="checkbox"/> 1 Gefäß mit Leitungswasser
		<input type="checkbox"/> 1 Tropfpipette (3 ml Pasteurpipette)
		<input type="checkbox"/> 1 Gefäß mit einer Spülmittellösung
Für Experten:		<input type="checkbox"/> 1 Becherglas à 250 ml
	⌚ V: 10 min	<input type="checkbox"/> 1 Büroklammer
	⌚ D: 10 min	<input type="checkbox"/> 1 Kuchengabel
		+ Vorlage für ein Versuchsprotokoll
M 6	Ab / SV	Die Arktis im Labormaßstab (Teamarbeit)
	⌚ V: 10 min	<input type="checkbox"/> 1 Glas à 250 ml
	⌚ D: 10 min	<input type="checkbox"/> 1 Gefäß mit warmem Wasser
		<input type="checkbox"/> 1 Eiswürfel
		<input type="checkbox"/> Münzen, beispielsweise 5-Cent-Münzen
		<input type="checkbox"/> Wischlappen oder Geschirrtuch
Für Experten:		<input type="checkbox"/> 1 Glas à 100 ml
	⌚ V: 10 min	<input type="checkbox"/> Speiseöl
	⌚ D: 5 min	<input type="checkbox"/> 1 Eiswürfel

Die Lösungen für die Schülerhand zu den Materialien finden Sie ab Seite 13.

Nutzen Sie das **Glossar** am Ende des Beitrages (Seite 17/18).

Minimalplan

Bei Zeitnot bearbeiten Ihre Schüler das Material M 1 als Hausaufgabe. Die beiden Versuche M 5 und M 6 können Sie in einer Stunde durchführen. Ihre Schüler schreiben das Versuchsprotokoll zu Hause.

M 1 Allgemeine Eigenschaften von Wasser

Aufgaben

1. Auf der folgenden **Pinnwand** wurden wichtige Informationen rund um das Wasser gesammelt. Lies dir die Texte durch und unterstreiche die wichtigsten Informationen.
2. Erstelle einen **Steckbrief** über das Wasser mit den folgenden Angaben: Summenformel, Entdeckung, Eigenschaften, Vorkommen, Verwendung.

Der Engländer Henry Cavendish bewies 1781, dass Wasser eine Verbindung aus Sauerstoff und Wasserstoff ist.

Wasser ist ein Molekül und besteht aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom.

Wasser ist ein gutes Lösungsmittel für polare Stoffe.

Beim Erstarren von Wasser erfolgt eine Volumenzunahme, beim Schmelzen eine Volumenabnahme.

Bei rund 4 °C hat Wasser seine größte Dichte.

Die chemische Formel von Wasser lautet H_2O .

Wasser gibt es in der Natur in allen drei Aggregatzuständen: fest in Form von Eis, flüssig als Wasser und gasförmig als Wasserdampf.

Wasser hat im Vergleich zu anderen Stoffen eine sehr große spezifische Wärmekapazität. Deshalb wird Wasser als Kühlmittel eingesetzt.

Wasser ist ein Dipol.

Für Experten

1. Finde heraus, wie viel ein Mol Wasser wiegt. Ein Mol sind ca. 602 Trilliarden ($1 \text{ Trilliarde} = 10^{21}$) Wasserteilchen.

Tipp

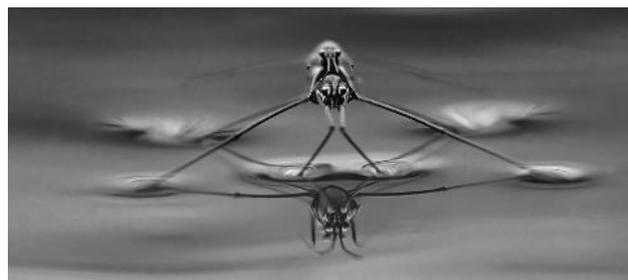
Im Periodensystem findest du: Atommasse von Wasserstoff: 1 u und Atommasse von Sauerstoff: 16 u, wobei u die atomare Masseneinheit $u \approx 1,660\,539 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ist.

2. Zeichne ein Schaubild, welches den Übergang des Wassers von einem Aggregatzustand (fest, flüssig, gasförmig) zum anderen beschreibt. Beschrifte die Zeichnung mit den richtigen Zustandsänderungen und den Namen der Ausgangs- und Endprodukte.

Wusstest du schon, dass ...

... Wasser mehr Substanzen als jede andere Flüssigkeit auflöst, reinigt und transportiert?

... Wasser aufgrund seiner Struktur eine Haut bildet, auf der ein Insekt, der Wasserläufer, laufen kann?



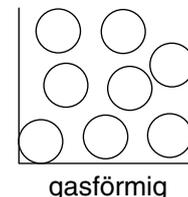
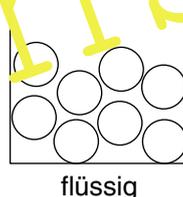
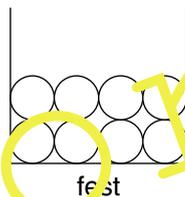
Gemeiner Wasserläufer © Thinkstock / iStock

M 2 Die Dichte von Wasser anhand des Teilchenmodells verstehen

Das Teilchenmodell dient zur Veranschaulichung des komplexen Aufbaus der Materie. Mit seiner Hilfe können eine Reihe von physikalischen Beobachtungen erklärt werden. Beispielsweise kann man damit zeigen, warum bei steigenden Temperaturen die Dichte eines Stoffes normalerweise abnimmt.

Merke: Das Teilchenmodell:

- Alle Stoffe bestehen aus Teilchen (Atomen).
- Wasser besteht wie alle anderen Stoffe auch aus Teilchen (Molekülen). Zwei Wasserstoffatome und ein Sauerstoffatom bilden ein Wassermolekül.
- Die Teilchen innerhalb eines Stoffes sind in ständiger Bewegung.
- Zwischen den einzelnen Teilchen sind Kräfte wirksam.
- Im festen Zustand liegen die Teilchen dicht beieinander und schwingen um ihre Ruhelage. Bei Flüssigkeiten sind die Teilchen etwas lockerer und können sich gegeneinander verschieben. Im gasförmigen Zustand besteht ein relativ großer Abstand zwischen den Teilchen. Die Teilchen bewegen sich frei kreuz und quer durch den Raum.
- Bei niedriger Temperatur schwingen die Teilchen eines festen Körpers um ihre Plätze hin und her. Bei höheren Temperaturen schwingen die Teilchen eines festen Körpers heftiger hin und her. Sie bleiben dabei jedoch an ihrer Stelle. Je höher die Temperatur eines Stoffes, desto schneller bewegen sich die Teilchen innerhalb des Stoffes.



Aufgaben

1. In welchem Aggregatzustand benötigen die Atome oder Moleküle den meisten Platz?
2. Kreuze bei den nachfolgenden Sätzen die richtige Antwort an:

Bei steigender Temperatur nimmt der Platzbedarf der Teilchen (das Volumen) normalerweise

ab.

zu.

Bei Erwärmung

bleibt die Masse eines Stoffes konstant.

verändert sich die Masse eines Stoffes.

Für Experten

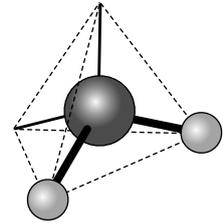
Wie ändert sich die Dichte eines Stoffes bei Erwärmung normalerweise?

Begründe deine Antwort. In welcher SI-Einheit gibt man die Dichte an?

M 3 Wasser – die chemischen Grundlagen

Aufbau des Wassermoleküls

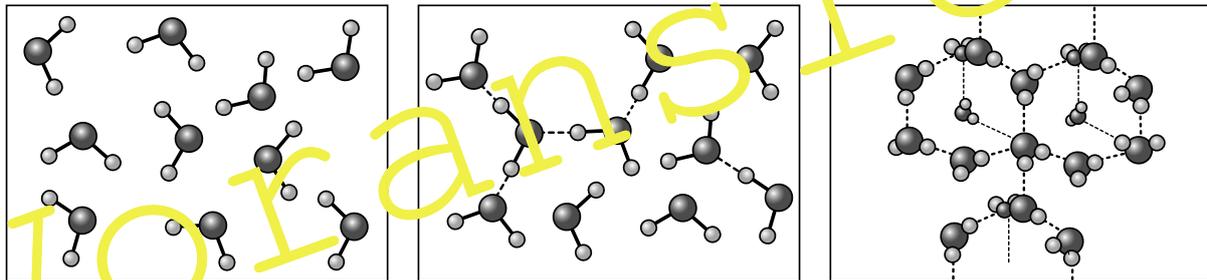
Wasser ist ein Molekül. Es besteht aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom. Die Formel lautet H_2O . Das chemische Symbol für Wasserstoff ist H, das für Sauerstoff O. Die insgesamt drei Atome sind nicht gradlinig, sondern gewinkelt angeordnet. Die beiden Wasserstoffatome, die an das Sauerstoffatom gebunden sind, bilden einen Winkel von ca. 105° . Dadurch entstehen ein negativer (Sauerstoffatom) und ein positiver (Wasserstoffatome) Ladungsschwerpunkt.



In diesem Zusammenhang spricht man von einem elektrischen **Dipol**. Infolge seines Dipolcharakters kann jedes einzelne Wassermolekül mit den benachbarten Molekülen in Wechselwirkung treten. Die positiv geladenen Wasserstoffatome ziehen die negativ geladenen Sauerstoffatome benachbarter Moleküle an. Es entstehen sogenannte **Wasserstoffbrückenbindungen**.

Wasserstoffbrückenbindungen führen zu Wasserclustern

Die Moleküle sind in ständiger Bewegung und bilden – abhängig von der Temperatur – mal mehr und mal weniger Wasserstoffbrückenbindungen. Diese Bindungen erreichen nur ca. 10 % der Stärke einer normalen chemischen Bindung. Je höher die Temperatur ist, desto schneller bewegen sich die Moleküle. Bei $100^\circ C$ bewegen sich die Moleküle so schnell, dass sich die Wasserstoffbrückenbindungen (und Wassercluster) auflösen. Dies ist der Punkt, bei dem Wasser siedet.



Was ist das Besondere an Wasser?

Normalerweise nimmt die Dichte von Stoffen bei sinkender Temperatur zu, da die Atome und Moleküle bei konstanter Masse weniger Platz (Volumen) benötigen. Bei steigender Temperatur hingegen nimmt die Dichte ab, weil die Atome und Moleküle sich schneller bewegen und bei gleicher Masse mehr Platz beanspruchen.

Anders als vermutet, bildet Wasser nicht beim Gefrierpunkt bei $0^\circ C$ die meisten Wasserstoffbrücken, sondern bei der **Temperatur von ca. $4^\circ C$** . Deshalb hat Wasser bei $4^\circ C$ die größte Dichte. Sinkt die Temperatur unter $4^\circ C$, nimmt die Dichte ab. Dieses Phänomen bezeichnet man als **Anomalie des Wassers**.

Ursache für die Anomalie

a) **Cluster**: Die im flüssigen Wasser vorhandenen **Cluster** sind sperrig. Mit steigender Temperatur werden die Cluster kleiner, weil sich die Moleküle schneller bewegen und die relativ schwachen Wasserstoffbrückenbindungen sich teilweise auflösen. Bei kleineren Clustern (geringerem Platzbedarf) sollte die Dichte eigentlich zunehmen.

M 4 Phänomene, die auf der Anomalie des Wassers beruhen

Büroklammer auf Wasseroberfläche



© Thinkstock / iStock

Mann auf Eis über schwimmendem Fisch



© Thinkstock / iStock

I/C

Eisberg in der Antarktis



© Thinkstock / iStock

M 3 Wasser – die chemischen Grundlagen (Tippkarten)

✂	✂
<p>Tipp 1</p> <p>Im ersten Satz sind zwei Begriffe vertauscht.</p>	<p>Tipp 2</p> <p>Die Formel von Wasser lautet H_2O.</p>
<p style="text-align: center;">✂</p> <p>Tipp 3</p> <p>Wasserstoff hat das Symbol H.</p>	<p style="text-align: center;">✂</p> <p>Tipp 4</p> <p>Im zweiten Satz stimmt die Anzahl der Atome nicht.</p>
<p style="text-align: center;">✂</p> <p>Tipp 5</p> <p>Die Atome, die zweifach vorkommen, sind positiv geladen.</p>	
✂	

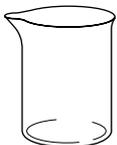
I/C

M 5 Versuchsprotokoll: Ein Experiment zur Oberflächenspannung

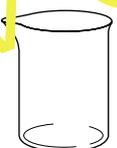
Findet euch zu Gruppen von je vier Schülern zusammen.

Protokoll von: _____ Datum: _____

Versuch 1, Schritt 1: Wasser + Pfeffer



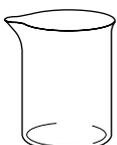
Versuch 1, Schritt 2: Wasser + Pfeffer + Spüli



Variante, Schritt 1: Wasser + Büroklammer



Variante, Schritt 2: Wasser + Büroklammer + Spüli



Lösungen für die Schülerhand

M 1 Allgemeine Eigenschaften von Wasser

Die Aufgabe besteht im Wesentlichen darin, die gegebenen Informationen zu ordnen. Dazu unterstreicht man zweckmäßigerweise zunächst die wichtigsten Begriffe.



© Thinkstock / iStock

Wasser aus dem Hahn

I/C

Aufgabe 2

Steckbrief Wasser

Summenformel: H_2O

Entdeckung: Henry Cavendish bewies 1781, dass Wasser eine Verbindung aus Sauerstoff und Wasserstoff ist.

Eigenschaften:

- Wasser ist ein gutes Lösungsmittel für polare Stoffe.
- Beim Erstarren erfolgt eine Volumenzunahme, beim Schmelzen eine Volumenabnahme.
- Wasser ist ein Dipol.
- Bei rund 4 °C hat Wasser seine größte Dichte.
- Wasser ist ein Molekül und besteht aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom.
- Wasser hat im Vergleich zu anderen Stoffen eine sehr große spezifische Wärmekapazität.

Vorkommen: Wasser gibt es in der Natur in allen drei Aggregatzuständen: fest in Form von Eis, flüssig als Wasser und gasförmig als Wasserdampf.

Verwendung: Wasser wird als Lösungsmittel und als Kühlflüssigkeit verwendet.

Glossar



I/C

Anomalie	Das Wort leitet sich von dem griechischen Wort <i>anōmalia</i> ab, was „Abweichung vom Normalen“ bedeutet. Im Allgemeinen dehnen sich Stoffe mit steigender Temperatur aus, wodurch ihre Dichte sinkt. Umgekehrt nimmt die Dichte bei abnehmender Temperatur zu. Wasser hingegen hat seine maximale Dichte bei rund 4 °C. Sinkt die Temperatur noch weiter, so nimmt die Dichte von Wasser ab. Dieses Phänomen heißt „Anomalie des Wassers“.
Atome	Das Wort „Atom“ stammt aus dem Griechischen und bedeutet „unteilbar“. Die Elemente des Periodensystems sind aus Atomen aufgebaut. Atome sind chemisch nicht teilbar. Das Wissen der Griechen ist aber längst überholt: Atome bestehen aus einem Atomkern, der positive Teilchen (Protonen) und neutrale Teilchen (Neutronen) enthält. Außerdem besitzen Atome eine Atomhülle, die unterschiedlich viele Elektronen hat. Die einzelnen Elemente unterscheiden sich im Aufbau ihrer Atome. Atome sind elektrisch neutral, besitzen also gleich viele Elektronen und Protonen.
Cluster	Das Wort stammt aus dem Englischen und bedeutet „Haufen“. Aufgrund von Wasserstoffbrückenbindungen bilden die Wassermoleküle instabile, meist kurzlebige Molekülverbände, die als Wassercluster bezeichnet werden.
Dichte ρ	Die Dichte ρ ist eine wichtige Eigenschaft von Stoffen. Sie spielt in der Wärmelehre eine große Rolle. Die Dichte ρ ist als das Verhältnis von Masse zu Volumen definiert. Die Einheit der Dichte ist z. B. Gramm pro Kubikzentimeter (g/cm^3).
Dipolmolekül	Als Dipolmolekül, auch kurz Dipol genannt, bezeichnet man ein Molekül, das zwei entgegengesetzt elektrisch geladene Seiten besitzt. Im Falle von Wasser ist die Seite mit den Wasserstoffatomen positiv und die Seite mit dem Sauerstoffatom negativ geladen. Der Dipolcharakter des Wassers kommt durch die gewinkelte Molekülstruktur des Wassermoleküls zustande.
Kristallstruktur	Unter der „Kristallstruktur“ versteht man den dreidimensionalen Aufbau eines Kristalls, welcher sich periodisch wiederholt.
Mol	Mol bezeichnet die Einheit der Stoffmenge. Das Kurzzeichen lautet mol. Ein Mol eines Stoffes enthält $6,022 \cdot 10^{23}$ Teilchen.