



Das „Element“ des Lebens

Für das Leben auf der Erde spielt Wasser eine enorm wichtige Rolle. H₂O ist auch aus chemischer Sicht eine ganz besondere Substanz. Viele selbstverständliche Dinge sind den speziellen Eigenschaften dieses einfachen, kleinen Moleküls zu verdanken.

Cyril Bachmann

Dr. sc. nat., Chemiker in einem Schweizer Chemie-Unternehmen

Unglaublich: Eis schwimmt auf dem Wasser!

Auf der Ostsee zeigte sich Anfang Februar 2026 eine ausserordentlich starke Eisbildung. Angesichts der eisigen Temperaturen bildete sich Packeis und schwamm auf dem Wasser. Viele Schaulustige strömten zu den Stränden, um das aufgetürmte Eis zu bestaunen. Was hier ungewöhnlich erscheint, ist eigentlich eine

Aus naturwissenschaftlicher Sicht ist es allerdings aussergewöhnlich, dass Eis auf dem Wasser schwimmt.

Selbstverständlichkeit: Eis schwimmt auf dem Wasser. Dies lässt sich leicht beobachten, wenn man ein paar Eiswürfel in ein Erfrischungsgetränk gibt.

Aus naturwissenschaftlicher Sicht ist es allerdings aussergewöhnlich, dass Eis auf dem Wasser schwimmt. Dies ist nur eine von vielen speziellen Eigenschaften dieser faszinierenden Substanz, die man Wasser nennt.

Das beschriebene Phänomen wird Dichteanomalie genannt. Dass Wasser in seiner festen Form (Eis) schwimmt, ist etwas Besonderes. Denn normalerweise hat eine Substanz als Feststoff (im Fall von Wasser: Eis) eine höhere Dichte als in seiner flüssigen Form. Die Dichte beschreibt das Gewicht pro Volumen und wird meistens in Gramm pro Milliliter (g/ml) beziehungsweise Gramm pro Kubikzentimeter (g/cm³) angegeben. Wenn man zum Beispiel ein Stück gefrorenen, reinen Alkohol (chemisch „Ethanol“ genannt) in flüssigen Alkohol gibt, sinkt der Ethanol-Würfel. Das Gleiche passiert auch, wenn man ein Stück Eisen in geschmolzenes Eisen gibt. Und genauso wäre das bei den meisten anderen Substanzen, also Lösungsmitteln, Metallen etc. Wird die flüssige Substanz gekühlt, steigt ihre Dichte normalerweise an, also Gewicht pro Volumen erhöht sich, oder einfacher gesagt: Die gleiche Menge Substanz braucht weniger Platz. Deshalb haben feste Substanzen in den meisten Fällen eine höhere Dichte als in ihrer flüssigen Form. Wie wir am Experiment des Erfrischungsgetränks gesehen haben, ist Wasser jedoch eine besondere Substanz. Wird Wasser abgekühlt, nimmt die Dichte zunächst auch zu, aber bei etwa 4°C ist die maximale Dichte erreicht. Wenn das Wasser weiter abgekühlt wird, sinkt die Dichte wieder und bei ca. 0°C erstarrt es schliesslich zu Eis. 0°C kaltes Eis hat eine tiefere Dichte als 0°C kaltes, nicht gefrorenes (also flüssiges) Wasser und daher wiegt 1 Liter Eis etwas weniger als 1 Liter flüssiges Wasser, was dazu führt, dass Eis immer auf der Oberfläche schwimmt.

Diese Dichteanomalie ist äusserst wichtig in der Natur. Denn sie ist verantwortlich für die – auf den ersten Blick ebenfalls völlig selbstverständliche – Tatsache, dass Gewässer immer an der Oberfläche gefrieren. Weil Wasser bei 4°C die höchste Dichte hat, sammelt sich das noch kältere Wasser immer an der Oberfläche. Dementsprechend bildet sich eine Eisschicht von oben nach unten. In Westeuropa dauert es bekanntermassen sehr lange, bis ein Gewässer für die Begehung freigegeben wird – ausser natürlich in den Bergen, weil es in der Höhe deutlich kälter ist. In tiefer gelegenen Regionen dauert es selbst bei kleinen Seen sehr lange, bis sich eine Eisschicht gebildet hat, die genug dick ist, um Menschen tragen zu können. Das liegt daran, dass, wenn sich einmal eine Eisschicht gebildet hat, das darunterliegende Wasser von der kalten Luft isoliert wird. Dadurch gefriert das Wasser unter der Eisschicht nur noch sehr langsam. Am Grund des Gewässers

bleibt die Temperatur immer stabil bei ca. 4°C, weil Wasser bei dieser Temperatur die höchste Dichte hat. Zumindest bleibt das so, solange nicht das gesamte Gewässer gefriert. Dank der isolierenden Eisschicht geschieht dies in Westeuropa selbst bei kleinen Teichen so gut wie nie. Um eine sehr dickere Eisschicht zu bilden, braucht es über längere Zeit sehr kalte Temperaturen. In Sibirien zum Beispiel bildet sich auf dem Baikalsee im Winter eine bis zu 2 Meter dicke Eisschicht, weil dort praktisch während des ganzen Winters sehr kalte Temperaturen herrschen. Hier zeigt sich die Bedeutung der Dichteanomalie für die Natur. Dank der Tatsache, dass Gewässer immer von oben zufrieren und das Wasser unter dem Eis immer flüssig bleibt, können die Lebewesen Kälteperioden überleben, weil sie immer sicher vor Erfrierungen sind. Für Gleichwarme, zu denen auch die Menschen gehören, kann bereits eine Körpertemperatur von unter 35°C gefährlich sein. Wechselwarme wie Fische, Amphibien oder Echsen haben aber die gleiche Temperatur wie die Umgebung und auch eine Körpertemperatur knapp über dem Gefrierpunkt ist kein Problem. Wenn die Temperatur aber zu tief ist, kann das Wasser im Körper gefrieren. Es bilden sich Eiskristalle, welche starke Gewebeschäden verursachen. Diesen Effekt kann man auch bei gewissen Lebensmitteln, zum Beispiel Gemüse, beobachten. Nach dem Einfrieren ändert sich die Konsistenz und sie werden oft „pampig“. In diesem Fall ist die Dichteanomalie ein Nachteil für die Lebewesen. Wie weiter oben erklärt, hat Eis eine tiefere Dichte als flüssiges Wasser. Anders gesagt braucht Eis mehr Platz als flüssiges Wasser und daher dehnt sich Wasser beim Gefrieren aus. In einem Lebewesen hat das verheerende Auswirkungen, weil die sich ausdehnenden Eiskristalle die Körperzellen zerstören. Spezialisierte Lebewesen haben zum Schutz eine Art „Frostschutzmittel“ entwickelt, welches den Schmelzpunkt des Wassers im Gewebe senkt. So gefriert das Wasser im Körper auch bei deutlich unter 0°C nicht und das Lebewesen kann die Kältestarre unbeschadet überstehen. Es ist immer wieder erstaunlich, was die Natur hervorbringt.

Die Dichteanomalie ist sehr wichtig für die Natur. Denn ohne sie würde sich keine Eisschicht auf der Oberfläche bilden, welche das Gewässer darunter isoliert. Im Gegenteil, das kälteste Wasser würde sich unten und das wärmste oben sammeln.

Ohne die Dichteanomalie des Wassers hätten sich also viele Ökosysteme in Regionen mit längeren Kälteperioden völlig anders entwickelt.

So würde das Gewässer viel schneller und gewissermassen von unten nach oben zufrieren. Vor allem bei kleineren bzw. seichten Gewässern wäre das ein grosses Problem, weil die Gefahr, dass das gesamte Wasser gefriert, viel grösser wäre. Ohne die Dichteanomalie des Wassers hätten sich also viele Ökosysteme in Regionen mit längeren Kälteperioden völlig anders entwickelt.

Das H₂O-Molekül – die kleinste Einheit des Wassers

Das ist aber nicht der Grund, weshalb das Wasser als Element des Lebens bezeichnet wird. Dazu später mehr. Zunächst ist festzuhalten, dass das Wort „Element“ aus naturwissenschaftlicher Sicht nicht zutreffend ist, denn Wasser

ist kein Element, sondern eine Verbindung aus den zwei Elementen Wasserstoff (chemisches Zeichen H) und Sauerstoff (chemisches Zeichen O).

Die gesamte Materie in unserer Welt besteht aus kleinsten Teilchen. Aus chemischer Perspektive sind die aller kleinsten Teilchen die Atome, die man sich als winzig kleine Kügelchen vorstellen kann. Ein chemisches Element ist eine Substanz, welche gewissermassen aus einer einzigen Atomsorte besteht. Wasserstoff und Sauerstoff sind zwei Beispiele, aber es gibt auch noch weitere wie Kohlenstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor und natürlich die unzähligen Metalle wie Eisen, Gold, Aluminium, Magnesium, Nickel, Silber, Blei, Platin etc., welche den Grossteil aller Elemente ausmachen. Abhängig von ihren chemischen Eigenschaften können sich verschiedene Atome verbinden und zum Beispiel Moleküle mit völlig neuen Eigenschaften im Vergleich zu den einzelnen Elementen bilden. Das Wassermolekül besteht aus einem Sauerstoffatom, an welchem zwei Wasserstoffatome gebunden sind. Daher die chemische Formel H₂O: Die tiefgestellte 2 nach dem H bedeutet, dass es zwei H-Atome im Molekül hat. Nach dem O steht keine Zahl, was indiziert, dass es nur ein Sauerstoffatom hat. Aufgrund der Eigenschaften des Sauerstoffatoms ist das Wassermolekül nicht gerade, sondern V-förmig (siehe Abbildung 1).

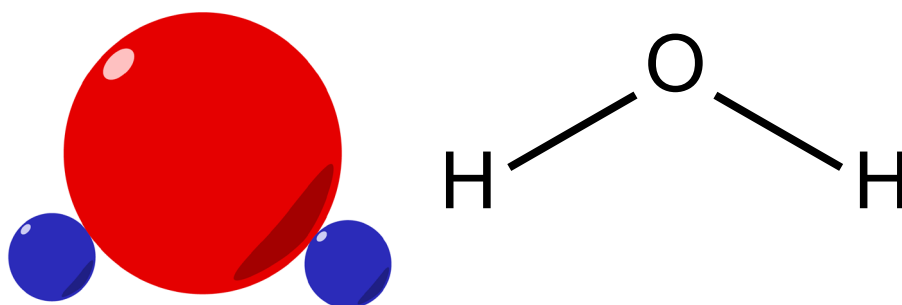


Abbildung 1: Schematische Darstellungen des Wassermoleküls als Kugelmodell (links) und als Strichformel (rechts). Das Sauerstoffatom (O) ist im Kugelmodell rot und die Wasserstoffatome (H) blau dargestellt.

Die Atome und dementsprechend auch die Moleküle sind unvorstellbar klein. In einem Liter Wasser – was 1 kg entspricht – hat es die unglaubliche Zahl von $3,344 \times 10^{25}$, oder ausgeschrieben

33 440 000 000 000 000 000 000 000 H₂O-Moleküle.

Zur Veranschaulichung dieser unvorstellbar grossen Zahl gibt es folgendes Gedankenexperiment: Wenn man 1 Liter Wasser, bei dem jedes Molekül radioaktiv markiert ist, gleichmässig auf die gesamte Wassermenge der Erde (alle Meere, Seen, Flüsse, Gletscher etc.) verteilen würde, so hätte es in jedem Liter Wasser auf der ganzen Welt immer noch mehr als 20 000 radioaktiv markierte Wassermoleküle!

H₂O – ein stark polarisiertes Molekül

Diese winzigen Wassermoleküle haben es in sich: Aufgrund der Eigenschaften der beiden Elemente sind die beiden Wasserstoffatome im Molekül elektrisch stark positiv und das Sauerstoffatom stark negativ geladen. In der Chemie sagt man, das Molekül ist stark polarisiert. Die elektrische Ladung ist nicht gleichmässig über das ganze Molekül verteilt, sondern die negative Ladung liegt stark auf dem Sauerstoffatom und die positive Ladung stark auf den beiden Wasserstoffatomen.

Diese Polarisation führt dazu, dass sich die verschiedenen Wassermoleküle untereinander stark anziehen. Man kann sich die Wassermoleküle auch als winzige Magneten vorstellen, bei denen sich zwischen den Molekülen die Wasserstoff- und Sauerstoffatome wegen der unterschiedlichen Ladung untereinander anziehen. Diese ungewöhnlich starke Anziehung zwischen den Atomen wird auch Wasserstoffbrückenbindung genannt (siehe schematische Darstellung in Abbildung 2). Auch andere Moleküle, bei denen ein Wasserstoffatom an einem Sauerstoffatom gebunden ist, können Wasserstoffbrückenbindungen bilden. Diese spielen eine sehr wichtige Rolle in der (Bio)Chemie.

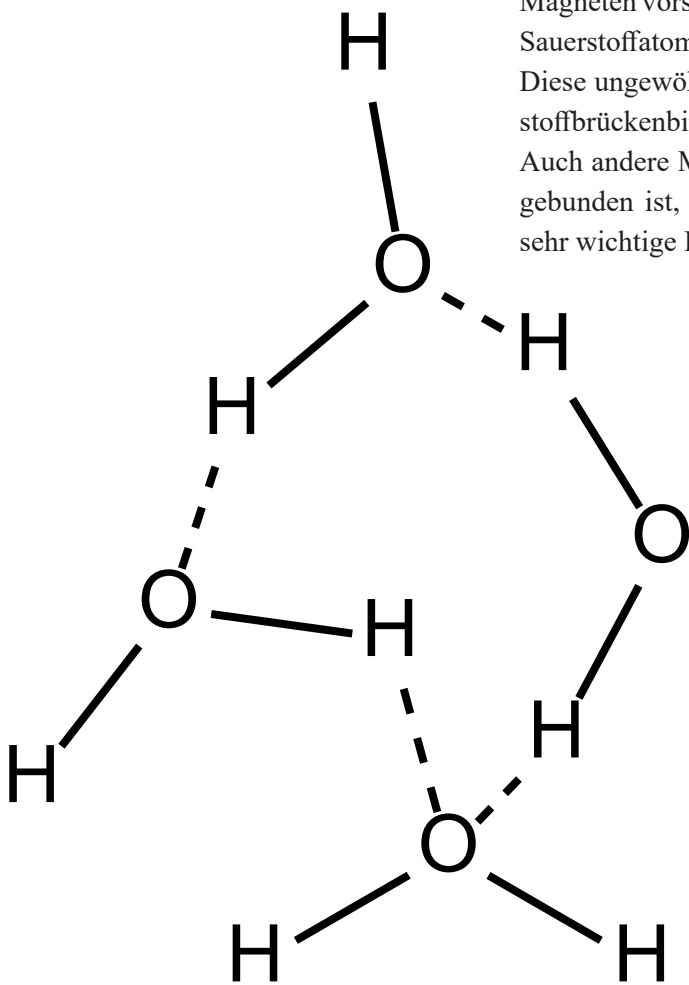


Abbildung 2: Schematische Darstellungen von Wassermolekülen, welche sich über Wasserstoffbrückenbindungen (gestrichelte Linien) gegenseitig anziehen.

In flüssigem Wasser bewegen sich die Moleküle aber immer noch schnell genug, dass diese „Magneten“ nicht aneinander kleben bleiben, sondern sich immer wieder lösen. Die Wassermoleküle bleiben also in flüssigem Wasser nie lange an einem festen Platz, sondern alle Moleküle bewegen sich sehr schnell hin und her. Wenn Wasser zu Eis erstarrt, bewegen sich die Moleküle immer noch, aber sie „zittern“ nur noch und bleiben fest in einem sogenannten Molekülgitter. Jedes Molekül bleibt dann an seinem Platz. Wenn Wasser, oder auch irgendeine andere Substanz, erwärmt wird, bedeutet das nichts anderes, als dass die Moleküle sich schneller bewegen.

Nun, andere Moleküle sind ebenfalls polarisiert, aber deutlich weniger stark. Schwefelwasserstoff (Molekülformel H₂S) ist ein Gas, welches vor allem aufgrund des üblen Geruchs nach faulen Eiern bekannt ist. Trotz den völlig unterschiedlichen Eigenschaften ist Schwefelwasserstoff aus chemischer Sicht mit Wasser verwandt. Denn das H₂S-Molekül ist sehr ähnlich aufgebaut: Es besteht auch aus zwei Wasserstoffatomen, welche V-förmig an einem Schwefelatom gebunden sind. Wegen der deutlich schwächeren Polarisation sind die Wasserstoffatome im H₂S-Molekül aber nur mässig positiv und das Schwefelatom nur mässig negativ geladen. Daher ziehen sich die Schwefelwasserstoffmoleküle untereinander deutlich schwächer an als die Wassermoleküle.

Weil sich die Moleküle im Wasser untereinander stark anziehen, ist das Molekülgitter im Eis sehr stabil und es braucht verglichen mit Schwefelwasserstoff deutlich mehr Energie in Form von Wärme, um die Moleküle „auseinanderzureissen“ und in Bewegung zu versetzen. Dadurch hat Wasser für seine Molekülgrösse

einen ungewöhnlich hohen Schmelzpunkt. Als grobe Faustregel gilt, dass der Schmelz- und auch der Siedepunkt von Substanzen immer mehr zunimmt, je grösser beziehungsweise schwerer die Moleküle sind. Obwohl das H₂S-Molekül etwa doppelt so schwer ist wie das mit ihm verwandte H₂O-Molekül, schmilzt Schwefelwasserstoff bei ca. -86°C und siedet bei ca. -60°C; Wasser bekanntermassen bei ca. 0°C und 100°C.

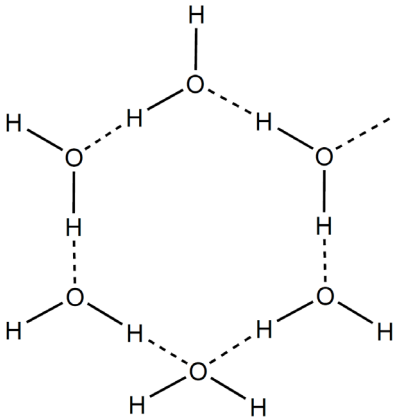


Abbildung 3: Schematische Darstellungen von Wassermolekülen im Molekülgitter von Eis.

Die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Wassermoleküls sind auch der Grund für die oben erwähnte Dichteanomalie. Wird Wasser abgekühlt, so bewegen sich die Moleküle immer langsamer. Wenn sich die Temperatur dem Gefrierpunkt nähert, beginnen sich die Moleküle in einem stabilen Gitter anzuordnen. Aufgrund der V-förmigen Struktur und der starken Polarisierung ordnen sich die Wassermoleküle im dreidimensionalen Molekülgitter in Form von 6-Ecken an (siehe Abbildung 3) und diese Anordnung braucht etwas mehr Platz, als wenn sich die Moleküle in kaltem flüssigem Wasser noch frei bewegen können. Dadurch nimmt die Dichte leicht ab und das führt dazu, dass Eis immer auf der Oberfläche schwimmt.

Die starken Wasserstoffbrückenbindungen (Anziehung zwischen den Wassermolekülen) helfen auch dem Wasserläufer. Wie der Name sagt, kann dieses Tier auf dem Wasser gehen. Das ist etwas, das dem Menschen angesichts seines Gewichtes nicht möglich ist. Die Tatsache, dass der Wasserläufer nicht ertrinkt, ist ein kleines Phänomen. Weil das Wassermolekül stark polarisiert ist, ziehen sich die Wassermoleküle an der Oberfläche stark an und bilden eine Art geschlossene Decke aus kleinen Magneten, die sich anziehen. Das sorgt dafür, dass Wasser im Vergleich zu anderen Flüssigkeiten eine sehr hohe Oberflächenspannung hat. Selbst Objekte aus Metall können so auf dem Wasser „schwimmen“, obwohl sie eine viel höhere Dichte haben als Wasser und eigentlich sofort sinken sollten. Das geht aber nur, wenn das Objekt eine genügend grosse Oberfläche hat, wie zum Beispiel eine Büroklammer oder eine (nicht allzu dicke) Münze. Wenn man diese Objekte langsam auf das Wasser legt, sinken sie nicht ab. Faszinierend, was die Kräfte zwischen den winzigen Molekülen bewirken können!

Diese Oberflächenspannung kann sehr einfach durch Zugabe von etwas Spülmittel aufgehoben werden. Das liegt daran, dass sich die Moleküle des Spülmittels zwischen den Wassermolekülen anlagern. Die Anziehung zwischen den Molekülen des Spülmittels untereinander wie auch zwischen den Molekülen des Spülmittels und denen des Wassers ist viel kleiner. So kann sich an der Oberfläche keine zusammenhängende, stabile Schicht aus Wassermolekülen bilden. Deshalb braucht es bei der selbstgemachten Fruchtfliegenfalle zusätzlich zum Essigwasser noch etwas Spülmittel. Damit wird die Oberflächenspannung so stark gesenkt, dass die Fruchtfliegen einsinken.

H₂O-Moleküle in Bewegung – oder: Wasser erwärmen

Der Umstand, dass es viel Energie braucht, um die Wassermoleküle in Bewegung zu versetzen, führt nicht nur zu ungewöhnlich hohen Schmelz- und Siedepunkten, sondern es braucht generell verhältnismässig viel Energie, um Wasser zu erwärmen.

Die Wärmekapazität von Wasser ist etwa zweimal so gross wie die der meisten anderen Lösemittel bzw. Flüssigkeiten.

In der Naturwissenschaft wird dies Wärmekapazität genannt, also die Menge an Energie, die nötig ist, um eine bestimmte Menge an Substanz zu erwärmen. Die Wärme-

kapazität von Wasser ist etwa zweimal so gross wie die der meisten anderen Lösemittel bzw. Flüssigkeiten. Das heisst zum Erwärmen von Wasser braucht es etwa doppelt so viel Energie wie für die gleiche Menge Olivenöl. Bei Metallen ist der Unterschied sogar noch deutlich grösser. Um die gleiche Menge Aluminium zu erwärmen, braucht es ca. 4-mal und bei Eisen sogar 8-mal weniger Energie verglichen mit Wasser. Das ist der Grund, warum eine heisse Pfanne mit einer kleinen Menge Wasser gekühlt werden kann. Um 1 kg Wasser um 1°C zu erwärmen, braucht es ca. 4.2 Kilojoule (kJ). Um 1 kg Leitungswasser (ca. 15°C) auf 100°C zu erwärmen, braucht man demnach ca. 357 kJ, was ungefähr 0.1 Kilowattstunden (kWh) entspricht. Mit dieser Energiemenge könnte man je nach Gerätemodell ca. 30-60 Minuten Fernsehen. Oder eine LED-Lampe für 10-17 Stunden brennen lassen. Man ist sich selten bewusst, wie viel Energie nötig ist, um etwas zu erwärmen, vor allem Wasser. Hier ist zu erwähnen, dass es sich bei diesen Rechnungen immer nur um die theoretische Mindestmenge an Energie handelt, die nötig ist. Allfällige Verluste sind bei diesen Angaben nicht einberechnet. In der Realität gibt es aber immer Verluste. So geht zum Beispiel stets ein Teil der Energie durch Wärmeabgabe an die Umgebung verloren und dementsprechend ist die tatsächlich benötigte Energiemenge höher. Beim Stromsparen lohnt es sich also sehr, den Verbrauch an Warmwasser zu minimieren.

Die Energie, die nötig ist, um Wasser zu erwärmen, wurde übrigens als Referenz für die Energieeinheit Kalorie verwendet, womit meistens der Energiegehalt von Lebensmitteln angegeben wird. 1 Kilokalorie (kcal) entspricht 4.2 kJ, also der Energiemenge, die benötigt wird, um 1 kg Wasser um 1°C zu erwärmen. Nimmt ein Mensch zum Beispiel 2 500 Kilokalorien an einem Tag zu sich, könnte man mit der gleichen Energiemenge eine Badewanne voll Wasser (ca. 170 Liter) von 15°C auf angenehme 30°C erwärmen. Oder ca. 29 Liter Wasser von 15°C auf 100°C erhitzen. Auch das sind theoretische Werte ohne Berücksichtigung von Verlusten. Übrigens braucht unser Körper zum Aufrechterhalten der Körpertemperatur, also gewissermassen zum Heizen, einen grossen Teil der aufgenommenen Energie. Das ist auch bei allen Tieren mit einer konstanten Körpertemperatur (Gleichwarme) der Fall. Tiere, die ihre Körpertemperatur der Umgebung anpassen (Wechselwarme), brauchen daher deutlich weniger Nahrung.

Die hohe Wärmekapazität des Wassers führt dazu, dass man viel Energie braucht, um Wasser zu erwärmen. Das bedeutet umgekehrt auch, dass warmes Wasser viel Wärmeenergie speichern kann. Diesen Effekt kann man gut beobachten. Weil Wasser so viel Wärme speichern kann, hält eine Bettflasche unter der Decke

lange warm. Mit der gleichen Menge erwärmtem Metall würde man viel schneller wieder frieren. Dass Wasser viel Wärmeenergie speichern kann, ist ideal für die Heiztechnik. Es eignet sich sehr gut dazu, um grosse Wärmemengen in einem

Wasser, respektive Gewässer, haben einen stark ausgleichenden Effekt zwischen den warmen und kalten Jahreszeiten.

Gebäude zu transportieren und zu verteilen. Die hohe Wärmekapazität von Wasser hat aber auch wahrhaft globale Auswirkungen. Wasser, respektive Gewässer, haben einen stark ausgleichenden Effekt zwischen den warmen und kalten Jahreszeiten. Man spricht nicht umsonst von Küsten- und Kontinentalklima. Orte, die in der Nähe eines Meeres oder eines grossen Sees liegen, haben deutlich weniger extreme Temperaturen im Sommer und Winter als Orte im Landesinneren. Sibirien ist sehr bekannt für die sehr kalten und langen Winter. In der grössten Stadt Sibiriens, Novosibirsk, können die Temperaturen im Januar auf bis zu -40°C sinken. Im Sommer wiederum sind Temperaturen über 30°C nichts Ungewöhnliches. Das liegt daran, dass Sibirien weit vom Meer entfernt liegt und es dort nur wenige grössere Gewässer gibt. Der ausgleichende Effekt kommt daher, dass die Gewässer im Sommer viel Sonnenenergie aufnehmen können. Das Wasser erwärmt sich in der Sonne viel langsamer als das Land und dadurch steigt die Luft-

Gewässer sind gewissermassen riesige, natürliche Klimageräte!

temperatur in der Umgebung des Gewässers weniger stark an. Wenn es im Herbst und Winter wieder kälter wird, gibt das Gewässer die im Sommer aufgenommene Wärme wieder ab und sorgt für höhere Lufttemperaturen. Gewässer sind gewissermassen riesige, natürliche Klimageräte! Noch deutlich stärker ist der Effekt bei den Weltmeeren, welche die Wärme über den ganzen Globus verteilen. Im Gegensatz zu einem grossen See nehmen die Weltmeere nicht einfach nur Sonnenenergie auf und geben sie wieder ab. Alle Ozeane sind durch globale Meeresströmungen verbunden, welche riesige Wassermassen um den Globus befördern. Dabei werden gleichzeitig riesige Wärmemengen von den warmen Äquatorregionen zu den kälteren Polregionen transportiert, was für ein deutlich ausgeglicheneres Klima zwischen den Regionen sorgt. Ohne diesen Wärmeaustausch wäre das Klima auf der Erde deutlich extremer. In Europa ist das besonders stark spürbar. Der Golfstrom bringt sehr viel Wärme aus der Karibik in den Nordatlantik und sorgt für verhältnismässig hohe Temperaturen bis nach Skandinavien. Die US-Metropole New York City liegt ungefähr auf dem gleichen Breitengrad wie die italienische Grossstadt Neapel. Beide Städte sind also ungefähr gleich weit vom Äquator entfernt. Dank des Golfstroms ist das Klima in Neapel jedoch deutlich wärmer als in New York.

Die starken Anziehungskräfte zwischen den Wassermolekülen führen auch dazu, dass es sehr viel Energie braucht, um Eis zu schmelzen. Man spricht hier von der Schmelzwärme. Um 1 kg Eis, welches 0°C kalt ist, vollständig in flüssiges Wasser mit 0°C umzuwandeln, braucht es ca. 333 kJ. Man muss also eine Menge Energie einbringen, aber die Temperatur bleibt bei 0°C , bis alles Eis geschmolzen ist. Mit der gleichen Energiemenge, die nötig ist um 1 kg Eis zu schmelzen, könnte man auch 1 kg flüssiges Wasser von 0°C auf ca. 80°C erwärmen. In einer ver-

schneiten Landschaft leistet die Sonne eine Riesenarbeit, um den ganzen Schnee zu schmelzen! Umgekehrt wird beim Gefrieren von Wasser zu Eis die gleiche Menge Energie freigesetzt, bzw. sie muss durch ein entsprechendes Kühlaggregat dem Wasser entzogen werden. Auch hier handelt es sich um theoretische Werte. Ausserdem sind Kühlgeräte, wie zum Beispiel ein Tiefkühler, nicht besonders effizient. Vereinfacht gesagt heisst das, dass nur ein Teil des verbrauchten Stroms effektiv zum Kühlen eingesetzt werden kann. Deshalb braucht es zum Kühlen und damit auch zur Herstellung von Eis etwa 2- bis 4-mal so viel Energie wie theoretisch nötig wäre.

Noch deutlich grösser als die Schmelzwärme ist die Verdampfungswärme von Wasser.

Noch deutlich grösser als die Schmelzwärme ist die Verdampfungswärme von Wasser, also die Energie, die benötigt wird, um flüssiges Wasser zu verdampfen bzw. zu verdunsten. Um 1 kg 100°C heisses Wasser vollständig in 100°C heissen Wasserdampf umzuwandeln, braucht es ca. 2257 kJ. Das ist etwa 6-mal so viel wie benötigt wird, um die gleiche Menge Eis zu schmelzen. Mit dieser Energie könnte man auch mehr als 6 Liter Wasser von 15°C auf 100°C erwärmen, mehrere Stunden Fernsehen oder die LED-Lampe einige Tage brennen lassen. Daher ist das Trocknen, also die Entfernung von Wasser, egal ob aus Kleidern oder aus Lebensmitteln, sehr energieaufwändig. Umgekehrt wird auch hier die gleiche Menge Energie freigesetzt, wenn Wasserdampf kondensiert, also in flüssiges Wasser umgewandelt wird. Deshalb sind Verbrennungen mit Dampf am menschlichen Körper besonders gravierend. In der Industrie wiederum ist Dampf ein sehr einfaches und effizientes Mittel zum Heizen von diversen Prozessen. Umgekehrt ist Wasser auch ein sehr effizientes Kühlmittel, weil es sehr viel Wärmeenergie aufnehmen kann; vor allem dann, wenn Wasser verdampft wird. In einem Atomkraftwerk entsteht sehr viel überschüssige Wärme, welche im Kühlturm an Wasser abgegeben wird. Ein Teil dieses Kühlwassers verdampft dabei, was für einen besonders starken Kühleffekt sorgt.

Die hohe Verdampfungswärme ist für die Menschen aus einem weiteren Grund von hohem Nutzen: Im Gegensatz zu den meisten Tieren haben Menschen die Fähigkeit zu schwitzen. Der menschliche Körper kann über die Haut kontrolliert Wasser abgeben, welches dann verdunstet. Dank der grossen Verdampfungswärme von Wasser sorgt das für einen starken Kühleffekt. Das ist ein grosser Vorteil gegenüber anderen Säugetieren, welche diese Funktion nicht aufweisen. Und was kann man machen, wenn das leckere Essen auf dem Teller noch zu heiss ist? Richtig, pusten. Dabei wird das Essen sehr schnell abgekühlt, weil das Pusten auch die Verdunstung von Wasser in der heissen Speise fördert und dabei viel Energie in Form von Wärme entzogen wird.

H₂O als wichtigstes „Element“ des Lebens

Heute geht die Wissenschaft davon aus, dass Leben in unserer bekannten Form nur mit flüssigem Wasser möglich ist. Das gilt für primitive Lebewesen wie

zum Beispiel Bakterien genauso wie für komplexe Lebewesen wie Pflanzen und Tiere. Deshalb ist Wasser das wichtigste „Element“ des Lebens. Dementsprechend ist bei der Suche nach Leben auf anderen Himmelskörpern immer eine der wichtigsten Fragen, ob dort flüssiges Wasser vorhanden ist. Aus chemischer Sicht ist Wasser eine sehr einfache Verbindung und kommt im Weltall häufig vor.

Bei der Suche nach Leben auf anderen Himmelskörpern ist immer eine der wichtigsten Fragen, ob dort flüssiges Wasser vorhanden ist.

Dennoch ist es schwierig, flüssiges Wasser zu finden, weil es grundsätzlich viel zu kalt ist. Die Durchschnittstemperatur im Kosmos liegt bei ca. -270°C , also weit entfernt von dem

Bereich, in dem Wasser flüssig vorliegt. Daher ist Leben nur auf Planeten (oder auch Monden) möglich, bei denen die richtigen Temperaturen herrschen. Ein Planet, bei dem Wasser in flüssiger Form vorliegt, erfüllt schon eine wichtige Voraussetzung dafür, dass sich Leben entwickeln kann. Nebst den Eigenschaften des Planeten wie zum Beispiel der Masse, ist vor allem der Abstand zum Stern entscheidend. Man spricht bei Planetensystemen von der sogenannten habitablen Zone. Das ist der Bereich um einen Stern, in dem die Temperaturen genau richtig liegen; nicht zu heiss und nicht zu kalt, gerade eben so, dass Wasser in flüssiger

Grundsätzlich herrschen aber auf unserem Planeten genau die richtigen Bedingungen, damit Wasser in flüssiger Form vorliegt und damit eine der wichtigsten Grundvoraussetzungen für Leben sichergestellt ist.

Form vorliegen kann. Wo genau diese Zone liegt, ist bei jedem Stern unterschiedlich. In unserem Sonnensystem liegt die Erde bekanntermassen genau innerhalb dieser habitablen Zone.

Wäre die Erde näher an der Sonne, wäre es zu heiss und früher oder später würde das ganze Wasser verdunsten. Wäre sie etwas zu weit weg, würde irgendwann das gesamte Wasser gefrieren. Es gibt übrigens Hinweise, dass es in der Erdgeschichte mehrere Perioden gab, in denen fast der gesamte Erdball von Eis bedeckt war (auch bekannt als „Schneeball Erde“). Das letzte Mal vor ca. 600 Millionen Jahren. Grundsätzlich herrschen aber auf unserem Planeten genau die richtigen Bedingungen, damit Wasser in flüssiger Form vorliegt und damit eine der wichtigsten Grundvoraussetzungen für Leben sichergestellt ist.

Nach aktuellem Wissenstand hat sich das Leben auf der Erde im Wasser entwickelt. Während einer sehr langen Zeit, mehrere Milliarden Jahre lang, gab es auf der Erde nur sehr primitive Lebewesen, wie zum Beispiel Bakterien und einfache Algen. Erst vor ungefähr 500 Millionen Jahren haben sich höhere Lebewesen entwickelt, aus denen schliesslich alle heutigen Pflanzen, Tiere und der Mensch hervorgingen. Damit sich Leben auf dem Land entwickeln konnte, mussten die früheren Lebewesen gewissermassen das Wasser mit an Land nehmen. Aus diesem Bedürfnis heraus wurde im Verlauf der Evolution eine mehrheitlich wasserdichte Haut entwickelt, um das Wasser im Körper halten zu können. Auch Menschen bestehen zu ca. 70 % aus Wasser; es ist überall im Körper, in den Zellen und in den Zwischenräumen, wo es unzählige wichtige Funktionen erfüllt. Daher ist ein zu hoher Wasserverlust für alle Organismen lebensgefährlich. Wasser ist so immens wichtig für Lebewesen, weil es ein sehr gutes Lösemittel für viele verschiedene Substanzen ist. Es löst sowohl Salze, wie zum Beispiel Natriumchlorid

Wasser ist das wichtigste Medium für viele biochemische Stoffwechselfvorgänge. (Kochsalz), als auch organische (Bio-) Moleküle wie Aminosäuren, Peptide, Zucker etc. Damit ist Wasser das

wichtigste Medium für viele biochemische Stoffwechselfvorgänge. Ausserdem transportiert Wasser unzählige Substanzen wie Nährstoffe, Abbauprodukte, Botenstoffe, Sauerstoff und auch Wärme innerhalb des Organismus (zum Beispiel als Hauptbestandteil von Blut oder der Lymphe).

Wasser spielt auch eine essentielle Rolle bei einer der wichtigsten biochemischen Reaktionen überhaupt: der Photosynthese. Ohne diese Reaktion gäbe es das Leben in der heutigen Form auf der Erde nicht. Pflanzen brauchen bekanntermassen keine Energie in Form von Nahrung wie Menschen und Tiere, sondern benötigen als Hauptenergiequelle „nur“ Sonnenlicht. Dies schaffen sie mit einer äusserst komplexen Reaktion namens Photosynthese. Dabei werden die beiden energiearmen Substanzen Wasser (H₂O) und Kohlendioxid (CO₂) in energiereiche Zuckerbindungen umgewandelt. Nebenbei entsteht dabei noch Sauerstoff als „Abfallprodukt“. Beim Essen nimmt der Mensch also Energie auf, welche ursprünglich aus dem Sonnenlicht kommt. Ausserdem nimmt er bei jedem Atemzug Sauerstoff auf, welcher bei der Photosynthese gewissermassen nebenbei freigesetzt wurde. Die Pflanzen brauchen also Wasser auch als wesentlichen Bestandteil bei der Energiegewinnung. Ohne Photosynthese der Pflanzen hätten Mensch und Tier nichts zu essen. Übrigens wird ein sehr grosser Teil der Photosynthese nicht von Pflanzen an Land, sondern von winzigen Algen, dem sogenannten Phytoplankton, in den Meeren durchgeführt.

Menschen und Tiere machen sozusagen das Umgekehrte der Photosynthese, sie „verbrennen“ die Nahrung, also zum Beispiel Fette oder Kohlenhydrate, mit Sauerstoff und gewinnen daraus Energie. Dabei wird nicht nur Kohlendioxid, sondern auch – ja genau – Wasser freigesetzt. Nebst dem Wasser, welches Mensch und Tier trinken, „produziert“ der Körper zusätzlich noch Wasser durch die Verdauung von Nahrung.

Das gilt auch bei klassischen Verbrennungsvorgängen, wie zum Beispiel dem Verbrennen von Holz, Gas, Heizöl, Benzin und so weiter. Eine energiereiche Substanz wird mit Sauerstoff zu Wasser und Kohlendioxid umgesetzt. Wenn bei einem Auto mit Verbrennungsmotor bei kälteren Temperaturen etwas Weisses aus dem Auspuff austritt, so ist das kein „Rauch“, sondern Wasserdampf. Genauso ist das auch beim „Rauch“, welcher bei Häusern aus Kaminen entweicht.

H₂O – eine Kraft, die Berge versetzen kann

Wasser spielte nicht nur eine wesentliche Rolle bei der Entstehung des Lebens auf unserem Planeten. Es hat auch wortwörtlich die Kraft, Berge zu versetzen – nämlich durch Erosion. Flüsse und vor allem Gletscher gestalten die Landschaft während sie fliessen. Ja, auch Gletscher fliessen, wenn auch viel langsamer. Sie sind gewissermassen Flüsse aus Eis, welche sehr langsam, mit einer

Geschwindigkeit im Bereich von einigen Zentimetern bis wenigen Metern pro Tag, ein Tal herunterfliessen. Während Wasser fliesst, trägt es, egal ob in flüssiger oder fester Form, Gestein ab und gestaltet dabei die Landschaft. Einerseits kann Wasser kleine Mengen des Gesteins auflösen, was vor allem bei Kalkstein geschieht. Andererseits kann fließendes Wasser Gestein sozusagen „abschleifen“. Das passiert vor allem, wenn das Wasser Schlamm oder kleine Gesteinskörner mit sich führt, was zu einem besonders starken „Schleifeffekt“ führt. In menschlichen Zeiträumen gemessen, ist das ein sehr langsamer Prozess, aber über tausende von Jahren kann sich ein Fluss förmlich durch die Landschaft „fräsen“ und ein – meistens V-förmiges – Tal formen. In Kalksteingebirgen können unterirdische Flüsse riesige Höhlen bilden. Zusätzlich bildet Wasser in den Höhlen durch die stetige Ablagerung von gelöstem Kalkstein faszinierende Säulen, die sogenannten Stalaktiten und Stalakmiten.

Gletscher haben durch das enorme Gewicht einen stärkeren Schleifeffekt als Flüsse und bilden meistens U-förmige Täler. Viele breite Täler in Europa wurden während der letzten Eiszeit durch Gletscher geformt. Zusätzlich zum Schleifeffekt kann Wasser vor allem in Gebirgen Gestein regelrecht „sprengen“. Dabei spielt die eingangs diskutierte Dichteanomalie eine wichtige Rolle. Wie oben erwähnt, dehnt sich Wasser beim Gefrieren aus. Wenn sich das in Gesteinsrissen oder Felsspalten abspielt, führt das über längere Zeit dazu, dass Felsblöcke auseinanderbrechen. Erosion durch Wasser kann aber nicht nur schöne Täler und faszinierende Höhlen bilden, sondern auch gefährlich für Natur und Mensch sein. Weil Wasser immer am Gestein „nagt“, gibt es immer wieder Steinschlag. Teilweise können auch ganze Felswände mit der Zeit instabil werden, was zu Bergstürzen führt. Ein historisch besonders bekanntes Beispiel in der Schweiz ist der Bergsturz von Goldau, wo am 2. September 1806 die beiden Ortschaften Lauerz und Goldau betroffen waren. Ein jüngeres Beispiel aus dem Jahr 2025 ist der Bergsturz in der Walliser Gemeinde Blatten.

H₂O in der menschlichen Geschichte

Weil Wasser so immens wichtig ist, spielte es auch in der Geschichte der Menschheit eine elementare Rolle. Nicht zufälligerweise befinden sich viele Grossstädte an Flüssen oder Seen. Der Nil in Nordafrika ist gewissermassen eine langgezogene Oase in einer riesigen Wüste. Wasser ist einerseits zum Trinken wichtig, aber auch essenziell zur Bewässerung der Felder, also zur Produktion von Nahrung. Auch der moderne Mensch verbraucht heutzutage einen Grossteil des Wassers indirekt über die Nahrung.

Wasser hat eine so zentrale Bedeutung für die Menschheit, dass es auch für wichtige Masseinheiten eingesetzt wurde. So wurde ursprünglich das Gewicht von 1 Liter Wasser bei 4°C als Referenz für die Gewichtseinheit Kilogramm festgelegt. Genauso nahm Anders Celsius im Jahr 1742 den Schmelz- und Siedepunkt von Wasser für seine Temperaturskala, die wir heute in jedem Thermometer finden. Ursprünglich legte er aber 100 Grad für den Schmelzpunkt und

0 Grad für den Siedepunkt fest. Also würde die Temperatur mit zunehmender Erwärmung abnehmen. Erst später, kurz nach Celsius' Tod, wurde die Temperaturskala von Carl von Linné auf Empfehlung eines französischen Kollegen angepasst, also gewissermaßen umgedreht. Zu Ehren von Anders Celsius nennt man Temperaturen, welche in dieser Skala angegeben werden, Grad Celsius (°C).

Übrigens ist Wasser die einzige bekannte Substanz, welche auf der Erde in nennenswerten Mengen in allen drei Aggregatzuständen (fest, flüssig und gasförmig) vorliegt. Da die Erdoberfläche zu ca. 71 % mit Wasser bedeckt ist, gibt es eigentlich reichlich viel davon. Insgesamt gibt es ca. 1,4 Milliarden Kubik-

Übrigens ist Wasser die einzige bekannte Substanz, welche auf der Erde in nennenswerten Mengen in allen drei Aggregatzuständen (fest, flüssig und gasförmig) vorliegt.

kilometer (km³) Wasser auf der Erde. Würde man mit dieser Menge eine riesige Kugel formen, hätte diese einen Durchmesser von ca. 1390 km. Zum Vergleich: Die Erde hat einen Durchmesser von ca. 12700 km und

unser Mond ca. 3474 km. Wenn man aus dieser Wassermenge einen Würfel formen würde, hätte dieser eine Kantenlänge von 1120 km. Von dieser unglaublich grossen Menge Wasser liegt über 98 % in flüssiger Form vor und fast 2 % als festes Eis (Tendenz leider abnehmend). Nur ein verschwindend kleiner Anteil der Gesamtmenge liegt gasförmig vor, als Wasserdampf in der Luft. Trotz dieser gigantischen Menge ist Wasser auf unserem Planeten ein rares Gut, da die Landlebewesen, inklusive wir Menschen, auf Süßwasser angewiesen sind. Nur ca. 3 % des Wassers liegt in Form von Süßwasser vor, der Rest ist Salzwasser. Zudem ist mehr als die Hälfte des Süßwassers als festes Eis gebunden; vor allem in Antarktika und Grönland, aber auch in unzähligen kleineren Gletschern und in Permafrostböden (Böden, welche das ganze Jahr gefroren sind). Fast gleichviel Wasser liegt als Grundwasser im Boden. Nur gerade mal 0,3 % der gesamten Wassermenge auf der Erde liegt als Oberflächenwasser in Form von Süßwasser vor und ist damit einfach nutzbar.

H₂O – das „Element“ des Lebens

Bereits unseren Vorfahren war bewusst, dass Wasser eine enorm wichtige Rolle für das Leben auf der Erde spielt. Insbesondere Süßwasser ist etwas sehr Wertvolles, weil es auf der Erde relativ selten vorkommt, aber enorm wichtig für uns ist. Mit der Zeit haben Menschen gelernt, die Eigenschaften des Wassers für diverse Zwecke zu nutzen und zu schätzen. Erst vor relativ kurzer Zeit haben die Menschen angefangen, Wasser genauer zu untersuchen. Aus naturwissenschaftlicher Sicht ist H₂O eine sehr einfache Verbindung, welche sehr häufig vorkommt. Bei genauerer Betrachtung wird jedoch deutlich, dass Wasser eine besondere Substanz mit ganz speziellen Eigenschaften ist. Genau diese Eigenschaften machen H₂O zum „Element“ des Lebens.

Zum Weiterlesen

Bühner, Manfred, *Wie alles anfang – Von Molekülen über Einzeller zum Menschen*, Berlin 2022.

Daniel, Roy M. u. a., *Water? What's so special about it?*, in: *Philosophical Transactions* 359 (2004) 1145-1165.

Lynden-Bell, Ruth M. u. a., *Water and Life. The Unique Properties of H₂O*, Boca Raton 2010.

Schwedt, Georg, *Einführung in die Wasserchemie*, Weinheim 2023.

Sigg, Laura/Stumm, Werner, *Aquatische Chemie. Einführung in die Chemie natürlicher Gewässer*, Zürich, 6., überarb. Auflage 2016.

Worch, Eckhard, *Hydrochemistry. Basic Concepts and Exercises*, 2nd, Revised and Extended Edition, Berlin/Boston 2023.