

# Steter Tropfen

**Drei Atome, ein Gedanke: Alles fliesst.  
Aber warum fliesst das Wasser eigentlich  
seit vier Milliarden Jahren?**

Von Joachim Riedl

Es ist das unheimlichste der Elemente. In seiner Tiefe schlummern Ängste und dunkle Ahnungen, die seit jeher den Aberglauben an Ungeheuer nährten. Es foppt die Menschheit, weil es sich fortwährend verwandelt, anscheinend über den Naturgesetzen steht und zu jeder Regel eine Ausnahme kennt. Es verbirgt sich in nahezu jeder Materie. Es ist unerschöpflich: Fast niemals geht es verloren, und es kann nur unter Aufwand höchster Energie zerstört werden.

Seine eigene Kraft hingegen ist furchterregend, nichts kann ihm auf Dauer widerstehen. Prinzipiell löst sich jede Substanz in Wasser auf; «wasserunlöslich» sagt man nur, wenn der Sättigungsgrad sehr niedrig ist. Aber es kann sich auch selbst auflösen - durchschnittlich jedes millionste Wasserteilchen tut das. Es ist stetig in Bewegung, transportiert unermüdlich ungeheure Mengen von Materie und Myriaden von Organismen durch die Natur. Nichts kann seinen Kreislauf hemmen. «Wir steigen in denselben Fluss und doch nicht in denselben», lehrte der Philosoph Heraklit: «Wir sind es, und wir sind es nicht.» Es hat in Milliarden von Jahren das Antlitz der Erde geformt, durchfurcht und abgeschliffen - und formt die Landschaft immer noch weiter. Es verschlingt ganze Regionen und schwemmt gleichzeitig Land an neuen Orten an.

Nur mit grosser Mühe kann ihm der Mensch seine Dienste ablisten. Es hat den Ursprung der Zivilisation befruchtet, und als man seine Pflege vernachlässigte, liess es mächtige Imperien wieder verdorren. Es ist jenes Element, das in fast allen grossen Epen von Gott oder von Göttern benutzt wird, um die ungehorsame Menschheit zu strafen: Es ertränkt, oder es lässt verdursten. Es ist aber auch jenes Elixier, nach dessen Zauberformel die Alchemie in Jahrhunderten vergeblich geforscht hat. Alles Leben kommt aus dem Wasser, und ohne Wasser wäre Leben keinen Augenblick lang lebensfähig gewesen. In abgelegenen Gebieten und in grosser Tiefe finden sich noch urzeitliche Lebewesen, sogenannte lebende Fossilien, deren evolutionäre Charakteristik sich bis ins Kambrium, ein Erdzeitalter, das vor sechshundert Millionen Jahren begann, zurückverfolgen lässt. Einige der ältesten Fossilienfunde aus Zimbabwe und Nordwestaustralien, von denen man annimmt, dass sie vor 3,5 Milliarden Jahren entstanden sein könnten, bestehen aus in Kalk erstarrten Schichten von Bakterienrasen, wie er heute noch von Einzellern in tropischen Flachmeeren gebildet wird.

Der Naturphilosoph Thales von Milet, der erste der Sieben Weisen, führte im sechsten Jahrhundert vor Christus alles Gegebene auf das Wasser zurück. Er sah darin eine ewige Ursubstanz, aus der alles Vergängliche entspringt und zu der es zurückkehren muss. Die Erdscheibe, meinte Thales, sei eine grosse Insel, die auf dem Urozean schwimmt, und der Mensch habe sich

einst im Inneren grosser Fische gebildet, bis er eines Tages aus ihnen heraus an Land gestiegen sei.

Weil Wasser ein derart alltäglicher und universaler, aber zugleich auch ein verwirrender und eigensinniger Stoff ist, hielt man es seit den Tagen des griechischen Wasserphilosophen über zweitausend Jahre lang für ein naturgegebenes Element, einen Grundbaustein der Welt. Noch Athanasius Kirchner, ein vatikanischer Hofgelehrter des Barock, behauptete, alle Flüsse, Seen und Meere speisten sich aus einem riesigen Reservoir im Inneren der Erde, und der Physiker Isaac Newton, der Entdecker der Mechanik, meinte in seiner Untersuchung *De Natura Aciditatis*, jede Substanz könne auf Wasser zurückgeführt werden. Erst 1781 gelang es dem französischen Chemiker Antoine Lavoisier, die korrekte Formel aufzustellen: Zwei Atome Wasserstoff werden durch elektromagnetische Kräfte jeweils mit einem Atom Sauerstoff zu einem Wassermolekül namens H<sub>2</sub>O verbunden. Das Wassermolekül, so sucht der Münchner Physiker Rudolf Treumann diese Verbindung zu veranschaulichen, sei «das Modell eines stabilen Paketes eines grossen und wirtschaftlich starken Staates mit zwei kleinen, schwächeren, aber auch mobileren Satellitenstaaten».

Jedes stabile Atom besteht aus einem elektrisch positiv geladenen Kern und einer Hülle.

Darauf wird er von einer jeweils maximal begrenzten Anzahl negativ geladener Teilchen, den Elektronen, wie auf einer Umlaufbahn umschwirrt. Sauerstoff hat Platz für acht solcher Elektronen, besitzt aber nur sechs. Wasserstoff kann hingegen zwei Elektronen aufnehmen, verfügt aber bloss über eines. Jedes Atom besitzt die Tendenz, seine Kapazität voll auszunützen. Das sorgt für die unwiderstehliche Anziehungskraft der beiden Elemente. Der Molekularvertrag des Wassers sieht vor, dass die beiden Wasserstoffatome ihre Elektronen als Tribut an das Sauerstoffatom abgeben, diesen Verlust allerdings dadurch kompensieren, dass sie jetzt innerhalb einer gemeinsamen Hülle Platz finden: einer Elektronenwolke, in der die Teilchen mit einer Geschwindigkeit von einigen Millionen Stundenkilometern um die drei Partner herumschiessen.

Daraus entsteht ein seltsames Gebilde. Die drei Kerne bilden ein gleichschenkeliges Dreieck im Winkel von 105 Grad, wobei die beiden Wasserstoffteile vom zentralen Sauerstoffatom um 0,96 Angström, also nicht einmal einen hundertmillionstel Zentimeter, entfernt sind. Der Elektronenwirbel verformt die Hülle jedoch zu zwei unsymmetrischen gekreuzten Keulen, die an jenen Spitzen, wo die Wasserstoffkerne sitzen, positiv und an den zwei gegenüberliegenden Höckern negativ geladen sind, obwohl das Molekül insgesamt neutral ist.

Dieser komplexe Aufbau ist für die meisten Besonderheiten von Wasser verantwortlich, mit denen es gegen alle zu erwartenden Regeln verstösst. Diese Regelverstösse erlauben ihm aber erst, seine zentrale Rolle im Leben der Natur zu spielen. Die einzelnen Moleküle verhalten sich zueinander wie kleine, elektrisch polarisierte Stäbchen, die sich, weil gleiche Pole einander abstossen, innerhalb ihrer Kraftfelder so ausrichten

und zueinander verdrehen, dass jeweils ein positives Ende an einem negativen andocken kann. Dadurch entstehen sogenannte Wasserstoffbrücken, über die sich wieder mehrere Moleküle zu grösseren, stets sechseckigen Gitterstrukturen vereinigen. Ist nur wenig Energie vorhanden, bewegen sich die Teilchen nicht mehr, und das Kristallgitter gefriert zu Eis. Wärmezufuhr lässt es zerbrechen, und im flüssigen Wasser wird der Tanz der Moleküle immer lebhafter - bis sich die bindingslosen Teilchen schliesslich zu Dampf verflüchtigen.

Die Teilchen an der Oberfläche von flüssigem Wasser verhalten sich jedoch gänzlich anders als jene im Inneren. Ein Teil ihres Kraftfeldes bleibt ungebunden, so dass sie mit ihrer überschüssigen Energie Druck auf die darunter liegenden Artgenossen ausüben. Dadurch bildet sich eine elastische Haut, die immer versucht, ihre Fläche möglichst gering zu halten. Aufgrund dieser Oberflächenspannung können etwa Insekten auf Wasser laufen und bilden sich Tropfen, die so lange anschwellen, bis die Zugkräfte der Oberflächenmoleküle zu schwach geworden sind.

Stossen die Teilchen hingegen an eine Gefässwand, so orientieren sie ihr Kraftfeld so, wie es die elektrische Ladung in ihrer unmittelbaren Nachbarschaft verlangt. Positiv polarisierte Grenzen, Glas beispielsweise, zwingen die Moleküle, mit den nach aussen vorgestreckten Wasserstoffenden in Reih und Glied anzutreten. In sehr engen Röhren können sich dann andere Teilchen mit ihren Wasserstoffbrücken daran festmachen und sich so selbst nach oben ziehen und sogar die Schwerkraft überwinden. Kraft dieser sogenannten Kapillarität saugen sich Schwämme und Tücher voll und Pflanzen verführen kostbares Nass dazu, durch dünne Wasseradern bis in ihre Spitzen zu steigen.

Flüssigkeiten stellen ein Mittelding zwischen festen Körpern und Gasen dar. Doch das mysteriöse Wesen fließender Stoffe kennt die Wissenschaft noch nicht genau. In ihnen lassen sich die Moleküle beliebig frei verschieben, wodurch sie sich jeder Form anpassen. Andererseits verfügen die Kräfte, die einzelne Teilchen aneinander binden, über eine Grössenordnung, die jener der Festkörper vergleichbar ist. Deshalb können sie, im Unterschied zu Gasen, nicht jedes zur Verfügung stehende Volumen ausfüllen und lassen sich auch kaum zusammendrücken oder komprimieren.

Bei Wasser in seiner flüssigen Form gehen die einzelnen Moleküle flüchtige Gitterbindungen ein, die ununterbrochen in sich zusammenbrechen und wieder neu entstehen. Es ist ein rasendes Gruppenbildungsritual, ein mikro- skopischer Ameisenhaufen. Bei normalen Temperaturen schliessen sich zwischen zwanzig und fünfzig Teilchen kurzfristig zu einer Bande zusammen, lösen sich wieder auf und suchen mit ihren elektrisch geladenen Fühlern nach neuen Partnern. Je wärmer es wird, desto häufiger verändert sich das fluktuierende Kristallgitter. Bei einer gewissen Temperatur befindet sich Wasser zugleich in flüssigem und gasförmigem Zustand: Einige Moleküle sind bereits verdampft, andere noch eingegittert. Manche

Wissenschaftler sprechen diesem Verbindungsprozess sogar die Fähigkeit zu, Informationen zu speichern, die dazu führen, dass sich die Molekülschwärme nach bestimmten Sequenzen zusammenfinden. Solche umstrittenen «biomagnetischen» Eigenschaften sollen etwa helfen, die Heilkraft wundertätiger Quellen zu erklären. Wasser scheint für jede erdenkliche Überraschung gut.

Die Naturgesetze erlauben, dass man anhand der Grösse eines Moleküls, also des kleinsten, nicht mehr teilbaren Partikels einer Substanz, exakt den Schmelz- und den Siedepunkt voraus- kalkulieren kann. Demzufolge müsste Wasser bei minus 97 Grad Celsius gefrieren und bei minus 93 Grad bereits wieder verdampfen. Wahrscheinlich weil die kristallähnliche Struktur der Flüssigkeit schon so etwas wie eine Vorausahnung des festen Zustandes ist, liegt der tatsächliche Gefrierpunkt mit ungefähr null Grad (das variiert mit dem Luftdruck und dem Grad der Verschmutzung, da reines H<sub>2</sub>O so gut wie niemals vorkommt) jedoch unerwartet hoch, und der Abstand zum Siedepunkt vergrössert sich auf zirka hundert Grad; in fünftausend Metern über dem Meer beginnt Wasser wegen des geringeren Luftdrucks allerdings schon bei 83 Grad Celsius zu dampfen.

Die Kristallgitterstruktur ist auch dafür verantwortlich, dass Wasser in festem Zustand leichter ist als in flüssigem. Dieses «Dichteanomalie» genannte Phänomen - am schwersten, also maximale Masse bei geringstem Volumen, ist Wasser bei vier Grad Celsius - entsteht, weil die erstarrten, in atomdünnen Schichten übereinander- gelagerten Moleküle wesentlich sperriger sind und immer wieder die Einlagerung von Luftbläschen zulassen. Daher kann Wasser, wenn es sich zu Eis ausdehnt, Felsen, in die es eingedrungen ist, sprengen. Und ab einer gewissen Tiefe frieren ruhende Gewässer niemals zu, sondern am Grund bildet der schlechte Wärmeleiter Wasser selbst im härtesten Winter noch einen gleichmässig temperierten Lebensraum.

Entscheidend für die lebensspendende Funktion von Wasser ist jedoch die aussergewöhnliche Fähigkeit, fremde Stoffe aufzulösen. Es zerstört sie dabei nicht, sondern zerlegt sie nur in Bestandteile, konserviert sie und schleppt sie mit sich fort. Der gelöste Stoff hat während des Transports keine Verfügung mehr über sich selbst, kann sich mit keiner anderen Substanz verbinden. Während dieses Vorgangs gruppieren sich die Wassermoleküle in zwei Zonen um ihr Stückgut herum. Den inneren Kreis bilden einige H<sub>2</sub>O- Teilchen, die den Fremdkörper wie eine Leibgarde kugelförmig abschirmen und an ihm auch noch als so genanntes Kristallwasser haften bleiben, wenn die Reise längst beendet ist. Den äusseren Ring bildet eine grössere Abteilung von Molekülen, die alle miteinander zu einem losen Flüssiggitter verbunden sind.

Nach diesem Prinzip der doppelten Bewachung befördert Wasser alle lebensnotwendigen Substanzen durch die Natur. Es durchflutet Zellen, Organismen und die gesamte Biosphäre mit Nährstoffen und schwemmt Schadstoffe wieder fort. Im mikroskopischen Bereich klebt es ausserdem in den Zellen die langen

Eiweissfäden zu kompliziert gefalteten Enzymklappen, die Wachstum, Stoffwechsel oder Fortpflanzung stimulieren und steuern. Es sorgt für den Wärmeausgleich des Organismus und kühlt bei der Verbrennung von Kohlehydraten vor tödlicher Überhitzung. Folgerichtig besteht der Mensch zu sechzig Prozent aus Wasser, wobei besonders lebenswichtige Organe wie das Gehirn mit 75 Prozent relativ feucht sind und Knochen mit 23 Prozent als trocken gelten. Die vordringlichste Lebensaufgabe ist es daher, Defizite im Wasserhaushalt auszugleichen: Das Stammhirn signalisiert Durst. Täglich werden normalerweise 2,5 Liter durch Atmung, Schweiß, Urin und Kot ausgeschieden. Der Verlust von 15 Prozent Körperwasser ist bereits tödlich.

Auf seltsame Weise haben die Landlebewesen als Erbe ihrer Urheimat auch ihren eigenen Ozean mit ans Trockene genommen. Viele der komplizierten biochemischen Prozesse hat die Evolution lediglich aus der ursprünglichen maritimen Lebenswelt übernommen und dem atmosphärischen Dasein angepasst. Sogar das menschliche Körperwasser entspricht mit geringen Unterschieden der mittleren Zusammensetzung des Meerwassers - ohne dessen Salzgehalt.

Für alle Lebewesen war das Wasser ein ideales Element, das viele für Landkreaturen notwendige Entwicklungen wie Klimaschutzsysteme oder ein starres Skelett zunächst überflüssig erscheinen liess. Zu Urzeiten, als es nur eine giftige Uratmosphäre gab, existierten im Wasser bereits frühe Lebensformen, die erst langsam den Sauerstoff der Luft durch Photosynthese aus dem Sonnenlicht erzeugen mussten. Diese Erkenntnis stand schon am Anfang der Evolutionstheorie. Leben, so mutmasste Charles Darwin, habe sich in einem «warmen Teich» entfaltet.

Wie es dazu kam, darüber gibt es kein gesichertes Wissen, und Forscher mühen sich mit mehr oder weniger spekulativen Vermutungen ab. Vor etwas mehr als vier Milliarden Jahren, so die gängige Auffassung, war die Erde so weit erkaltet, dass sich flüssiges Wasser aufgrund der Schwerkraft auf der Oberfläche hatte sammeln können (der leichte Dampf hätte sich ja wegen der reduzierten Atmosphäre im All verloren). Wahrscheinlich wurden die Urozeane nach und nach aus dem Inneren des blauen Planeten ausgeschwitzt oder ausgespien. Noch heute bestehen bei Vulkanausbrüchen achtzig Prozent der flüchtigen Bestandteile aus Wasserdampf. Seitdem ist die gesamte Wassermenge des Globus konstant geblieben: Geschätzte 1,64 Milliarden Kubikkilometer, von denen noch immer mindestens 15 Prozent in der Erdkruste gebunden sind. Von den restlichen 1,38 Milliarden Kubikkilometern frei beweglichen Wassers befinden sich über 97 Prozent in den Weltmeeren, und zwei Prozent sind als Gletscher- und Polareis dem Kreislauf entzogen. Weniger als ein Prozent steht der Natur als Süswasserreservoir zur Verfügung. Dennoch müsste jeder Mensch durchschnittlich 1800 Kubikmeter jährlich verbrauchen können - wäre die Verteilung des Lebensspenders nicht so unausgewogen.

Die Urozeane waren höchstwahrscheinlich eine derartig stinkende Brühe, dass sich die Bezeichnung «Ursuppe» eingebürgert hat. Wieso darin erstmals ein Lebensfunke aufzucken konnte, weiss niemand zu sagen. Von komplizierten chemischen Evolutionsmodellen bis zur galaktischen Zeugung reicht die Spannweite der Hypothesen. Viele Hunderte Millionen von Jahren existierte nur einzelliges Leben, für welches das urzeitliche Habitat paradiesisch gewesen sein muss. Erst relativ spät entwickelten sich daraus komplizierte Strukturen: Algen, Pilze oder Hohlkörtiere, die bereits über ein Atemsystem verfügten. Erst vor rund vierhundert Millionen Jahren verliessen die ersten Lebewesen zaghafte das Wasser: Sporenpflanzen streckten Luftwurzeln aus, dann krochen urzeitliche Skorpione an Land und warfen die Kiemen ab.

Seitdem steht bei allen Lebewesen das Verhältnis zum existentiellen Element Wasser im Zentrum des Daseins. Die Natur erfand komplizierte Systeme, um selbst unter extremen Bedingungen ein Überleben zu sichern. In Wüstenregionen schützen sich etwa Pflanzen mit einer dicken Wachshaut und Stacheln vor Austrocknen und Flüssigkeitsraub. Für Frostzonen andererseits, wo Eiskristalle die Zellmembrane zerreißen könnten, erfanden manche Spinnen spezielle Frostschutzproteine. Bei gewissen Fröschen und Schildkröten können bis zu 65 Prozent der Körperflüssigkeit zu Eis erstarren.

Auch das jüngste Geschöpf der Evolution, der Mensch, musste von Anfang an alle seine Fähigkeiten aufwenden, um den Herausforderungen des Wassers zu begegnen. Die erste Hochkultur im Zweistromland konnte erst entstehen, als sesshaft gewordene Bergstämme gelernt hatten, den Regen zu ernten und in raffinierten Bewässerungssystemen zu kultivieren. Überall, wo frühe Zivilisationen von den Anden bis zum Himalaja ihre Spuren hinterliessen, stossen Archäologen auf ähnlich ausgeklügelte Konstruktionen. Persien etwa war vor zweitausend Jahren von einem Netz von 40000 unterirdischen Wassertunnels in einer Gesamtlänge von 270000 Kilometern untergraben. Dieses Leitungssystem ist heute zerfallen.

Doch die Bändigung des Wassers, so meint der Historiker William McNeill, bescherte nicht nur Reichtum und kulturellen Fortschritt: Auf zwei Ebenen konnte sich ein parasitäres System festsetzen, das bis heute fortdauert. Einerseits beförderte der Universale Transporteur H<sub>2</sub>O mikroskopisch kleine, bis dahin unbekannte Krankheitserreger entlang der Kanäle in die neu entstandenen Bevölkerungszentren; weil aber andererseits ein komplizierter Wasserhaushalt auch nach einer vergleichbaren sozialen Organisation verlangte, entstand eine Schicht von feudalen Schmarotzern: Sie hatten die Kontrolle über die Bewässerungssysteme erobert. Sie gelangten in der wasserabhängigen Gesellschaft an die Macht. So fanden schliesslich auch Politik und Wasser zueinander.