

WELLENREITER / RIDING THE WAVES



Wasser kann Forscher in Sinnkrisen treiben. Es ist glasklar und doch so undurchschaubar wie kaum ein anderer Stoff.

In der griechischen Philosophie zählte Wasser zu den vier Elementen – Erde, Feuer, Wasser und Luft. In der chinesischen Philosophie war es Bestandteil der Fünf-Elemente-Lehre mit Holz, Feuer, Erde, Metall und Wasser. Heute erkennt die Forschung immer klarer, wie essentiell Wasser tatsächlich für alle Lebensprozesse ist und wundert sich einmal mehr über die außerordentlichen Eigenschaften des Lebensstoffes. Denn kein anderer Stoff verhält sich so rätselhaft und hat zugleich eine so zentrale Bedeutung für das Leben auf der Erde wie das schlichte H₂O.

Ganz oben auf der Liste der drängenden Fragen steht derzeit, welche Rolle Wasser hat, wenn etwa der Erbstrang, die DNS, sich teilt oder Reaktionen im Zellinneren ablaufen. „Bisher betrachteten wir die Biologie im Leeren Raum. Dabei ist Wasser nicht nur das Medium, in dem die zentralen Lebensstoffe wie Proteom und Genom schwimmen. Es ist nicht nur Zuschauer, sondern aktiver Mitspieler“, erklärt Martina Havenith, Leiterin des Schwerpunkts Biomolekulare Chemie an der Ruhr-Universität Bochum.

Wasser ist nicht nur Zuschauer, sondern aktiver Mitspieler

Erstaunlich, dass es zu diesen Einsichten erst jetzt kommt – wird Wasser doch stets als Quell des Lebens bezeichnet, wäre ohne es ein Leben auf Erden undenkbar. Rund 70 Prozent der Erdoberfläche sind mit Wasser bedeckt. Der menschliche Körper besteht zu etwa zwei Dritteln aus dem feuchten Element, Blut zu 90 Prozent, das Gehirn zu 77 Prozent. Dennoch wurde

dem Wasser, das unter anderem die Erbsubstanz DNS im Zellinneren umhüllt, keine wirklich entscheidende Bedeutung beigemessen. Nun aber ändert sich diese Sichtweise grundlegend.

Um die Rolle des Wassers bei den Reaktionen in unserem Körper und der Entstehung des Lebens auf der Erde zu ergründen, arbeiten Wasserforscher mehrheitlich als Wellenreiter. Sie surfen unermüdlich mithilfe unterschiedlichster Wellen – von kurz wie Gamma-Strahlen bis lang wie Infrarotwellen – ins Innere des Wassers, stupsen Moleküle und deren Atomkerne sowie Elektronen an und lesen aus deren Reaktionen, was das Wasser so besonders macht. Denn so simpel der Aufbau eines Wassermoleküls aus einem Sauerstoff- und zwei Wasserstoffatomen erscheint, so einzigartig ist er in seiner Wirkung. Kein anderer Stoff zeigt so viele Gesichter, weist so viele Besonderheiten auf, verhält sich nicht normal. Gut 40 Anomalien sind derzeit gezählt. Die bekannteste: Wasser dehnt sich beim Gefrieren aus, während andere Stoffe sich dabei zusammenziehen, dichter werden. Würde Wasser sich auch verdichten, würde nicht nur das Eis im Cocktailglas am Boden liegen. Seen würden von unten zufrieren und Fische hätten im Winter dort keine Überlebenschance.

Es ist nicht einmal klar, warum Wasser auf Erden eigentlich flüssig und fest ist. Es müsste sich bei normalem Verhalten und den vorherrschenden Temperaturen, abgesehen von den Polen, längst in Luft aufgelöst haben. Der Planet Erde wäre staubtrocken. Lediglich in der Atmosphäre könnten sich die Moleküle aufhalten. Eine weitere Wasseranomalie sorgt beispielsweise für das besondere Klima in Europa. Nur weil Wasser eine ungewöhnlich hohe Wärmekapazität hat, kann es beachtliche Mengen an

Wärme speichern und transportiert über den Golfstrom nur allmählich abkühlendes, karibisch warmes Wasser zu uns.

Wasser zeigt sich manchmal schier paradox. Man kann es auch unter null Grad abkühlen, ohne dass es gefriert. Aber je stärker man es abkühlt, desto mehr Energie ist nötig, um es wieder zu erwärmen. Bei -45 Grad Celsius steigt dies theoretisch gegen unendlich. Man könnte es erhitzen, so viel man will, es würde und würde nicht mehr wärmer werden.

Was das Wasser so besonders macht, schien für Forscher zunächst schnell ausgemacht. Schuld an all dem ist wohl die Verteilung der Elektronen im Wassermolekül, die einen starken elektrischen Dipol erzeugt. Die Wasserstoffatome sind eher positiv geladen, das Sauerstoffatom negativ. Deshalb kann sich Wasser in besonderer Weise vernetzen, bildet so genannte Wasserstoffbrücken. „Es ist ganz offensichtlich, dass diese Fähigkeit des Wassers die entscheidende Rolle spielt“, erklärt einer der forschenden Wellenreiter, Philippe Wernet vom Berliner Synchrotron, BESSY am Helmholtz-Zentrum Berlin.

In seinem Inneren ist Wasser ein unstetes Wesen

Das Paradoxe ist, dass diese Brücken zwar nie lange Bestand haben, gleichzeitig aber doch so viel an Zusammenhalt bieten, dass Wasser seine besonderen Eigenschaften hat. Denn flüssiges Wasser ist in seinem Inneren ein unstetes Wesen und kommt niemals zur Ruhe. Die Moleküle führen alle nur denkbaren Bewegungen durch. So drehen sie sich gerne um die eigene Achse und öffnen und schließen laufend Brückenbindungen zu ihren Nachbarn, tänzelnd wie in einem großen Menuett wechseln sie die Partner. Es gibt praktisch keinen Moment des Verharrens.



WELLENREITER / RIDING THE WAVES

ENTDECKUNGEN
/DISCOVERIES
WASSER
/WATER

20
09

Water can cause researchers to doubt everything they know. It's crystal clear, and yet harder to see through than almost any other substance.

In Greek philosophy, water was one of the four elements: earth, wind, fire, and water. In Chinese philosophy, it was a component of the five-element theory alongside wood, fire, earth, and metal. Today, research more clearly recognizes its essential role in all biological processes, once again astounded by the wondrous characteristics of this life-giving substance. That is because no other material besides pure H₂O has such puzzling properties but is so essential to life on Earth.

High at the top of the list of currently pressing questions is the role of water in the division of DNA strands or in reactions within a cell's interior. "Until now, we've been observing biology in an empty space. Water is not only the medium in which central life substances, such as proteomes and genomes, swim. It's not only part of the audience, but rather is an active player," explains Martina Havenith, Head of Biomolecular Chemistry at the Ruhr University in Bochum.

Water is not only part of the audience, but an active player

It's astounding that scientists are coming to this realization so late – water is, after all, commonly regarded as the source of creation, without which life on Earth would be inconceivable. Around 70 percent of the world's surface is cov-

ered in water. Around two-thirds of the human body is comprised of the wet element; it makes up 90 percent of our blood and 77 percent of our brain. But nevertheless, no vital importance had ever been attributed to water, which (amongst other things) also surrounds the genetic substance known as DNA in the interior of a cell. Now, this traditional viewpoint is being turned on its head.

In order to understand the role of water in our body's physical reactions and in the creation of life on Earth, the majority of researchers ride the waves. With the help of various waves – from short gamma rays to long infrared waves – they tirelessly surf into the core of the water, stimulating the nuclei and electrodes of molecules in order to test their reaction. The goal is to find out what makes water so different.

As simple as the structure of a water molecule may appear, with one oxygen atom and two hydrogen atoms, it is all the more unique in its properties. No other substance shows as many different faces, displays so many distinctive features, and behaves so abnormally. A good 40 abnormalities have already been established. The most well-known of them all: water expands as it freezes, whereas other materials contract and become denser. If water were to grow denser as well, the fact that ice cubes would no longer float in cocktails would be the least of our worries – bodies of water would freeze from the bottom up, leaving fish with no chance of survival during winter.

It's not even clear how water can exist in a liquid and solid form on Earth. At the temperatures predominately found here (with the ex-

ception of the polar caps), water should have vanished into thin air if it behaved normally. Planet Earth would be as dry as the desert. The molecules would only be able to survive in the atmosphere.

Another one of water's abnormalities is demonstrated by the unique climate of the European continent. Water's unusually high heat capacity allows it to store considerable amounts of heat and transport warm water to Europe from the Caribbean via the Gulf Stream with only minimal cooling.

Water's behaviour can be simply paradox at times. It can be chilled to temperatures below 0°C (32°Fahrenheit) without freezing. Yet the stronger it is cooled, the more energy is needed to reheat it. At 45°C below zero (-49°Fahrenheit) this amount could be infinite in theory. No matter how much heat is applied, the water will not become any warmer.

At first, it appeared as though researchers had quickly discovered what made water so unique. The reason was apparently the division of electrons in water molecules, which generates a strong electric dipole. The hydrogen atoms in a water molecule are positive, whereas the oxygen atom is negatively charged. This gives the water molecules the ability to form networks, or so-called hydrogen bridges. "It is very apparent that this particular ability plays a most crucial role," explains one of the researchers who rides the waves, Philippe Wernet, from the Berlin synchrotron facility 'BESSY' at the Helmholtz-Zentrum Berlin.

WELLENREITER / RIDING THE WAVES



Thomas Elsässer, Direktor des Max-Born-Instituts für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie in Berlin, der mit speziellen Infrarotmessungen Infrarot-Messungen gezeigt hat, wie lange es dauert, bis eine Information im Wasser verschwindet, spricht von einem Zeitbereich zwischen zehn Femtosekunden für die Eigenbewegungen der Moleküle und wenigen Picosekunden, das sind 0,000.000.000.001 Sekunden, für die Lebensdauer einer Wasserstoffbrückenbindung. Damit ist auch klar, dass Wasser keine Informationen speichern kann. Wasser hat schlicht kein Gedächtnis. Denn mit dieser schnellen Umorientierung und Vergesslichkeit hinterlassen weder magnetische Ausrichtung noch chemische Substanzen dauerhafte Spuren. Die Idee ultra-hochverdünnter homöopathischer Tropfen, in denen kein Wirkstoff mehr steckt, die aber dennoch wirken sollen, oder der esoterische Ansatz, äußere Magnete, an denen Wasser vorbeifließt könnten dieses dauerhaft beeinflussen sollen, sind wissenschaftlich nicht haltbar.

Der Tanz der Wassermoleküle

In der mächtigen, runden Experimentierhalle des Bessy bauen Wernet und Elsässer mit Kollegen in imposanten Dimensionen einen Versuch auf, der sich letztlich auf wenigen Nanometern abspielen wird. Hinter den meterdicken Wänden des Bessy steht der Elektronenspeicherring mit einem Umfang von 240 Metern. Durch ihn jagen Elektronen fast mit Lichtgeschwindigkeit im Kreis und geben dabei Strahlung ab, die so genannte Synchrotronstrahlung. Einen besonderen Teil dieser Strahlung, die so genannten Femtosekunden-Photonen, brauchen die Forscher und leiten diese über zahlreiche Rohre nach einem ausgeklügelten System zu ihrem Experiment.

Es ist furchtbar laut hier, denn im Inneren des Ringes muss Vakuum herrschen, die Pumpen dröhnen. Am Ende wartet eine Stahltrommel in Größe einer Waschmaschine, in die eine winzige Probe Wasser eingesperrt ist – in einen 500 Nanometer schmalen Raum, 150 mal dünner als ein menschliches Haar.

„Wir wollen Stärke und Art der Wasserstoffbrückenbindungen analysieren“, erklären Wernet und Elsässer. Wärmende Infrarotwellen sollen das Wasser auf 50 Grad Celsius erhitzen. Die Wassermoleküle beginnen zu tanzen und zu schwingen. Dann lassen die Forscher es wieder abkühlen und wollen mithilfe der Photonen aus dem Ring messen, wie sich die Schwingungen langsam wieder normalisieren.

Eines ihrer Ziele dabei: Sie wollen erkennen, wie stark die einzelnen Moleküle vernetzt sind, zu wie vielen anderen Wassermolekülen eines durchschnittlich seine Brücken schlägt. Zwei, drei oder vier? Bis vor fünf Jahren galt es als ungeschriebenes Gesetz, dass sich Wassermoleküle mit rund dreieinhalb anderen umgeben. Das könnte viele der vernetzenden und besonderen Eigenschaften des Wassers erklären, und es passte von der Struktur her.

Eine Art Spaghetti-Suppe

Doch als Wernet, Anders Nilsson von der Stanford University und Lars Pettersson von der Universität Stockholm im Jahr 2004 mit der so genannten Röntgenabsorptionsspektroskopie ins Wasser blickten, lasen sie darin ganz andere Muster. Sie zählten durchschnittlich nur zweieinhalb Nachbarn. Die Moleküle bildeten demnach eher Ketten und Ringe. Das würde bedeuten, dass Wasser doch nicht so stark vernetzt ist, wie immer angenommen wurde. Wernet erinnert sich: „Wir haben wirklich alles hinterfragt und uns erst nach langem Überlegen entschieden, unsere Ergebnisse zu veröffentlichen.“

Kritik gab es seither genug. Selbst Elsässer zeigt sich zurückhaltend und meint: „Die Mehrzahl der Wasserforscher glaubt nicht an deren Modell.“ Alfons Geiger von der Universität Dortmund untersucht die Strukturen von Wasser per Computersimulationen seit den 1970er Jahren und erklärt: „Wenn Wasser mehrheitlich aus Ketten besteht, also eine Art Spaghettisuppe sein soll, so ist dies sicher Unsinn.“ Im Schnitt sei ein Molekül mit 3,5 anderen verbunden.

Wie sehr sich ein Wassermolekül vernetzt, ist umso wichtiger, als Wasser die berühmten Brückenbindungen nicht nur unter seinesgleichen bildet. Die Eigenschaften des Wassers spielen auch eine bestimmende Rolle im Inneren unseres Körpers – in der Funktion von Biomolekülen. Wasser fungiert als Heiratsvermittler für Proteinstückchen und zugleich als Kampfschlichter, indem es durch eine schützende Hülle verhindert, dass sich im Inneren von Zellen die zahlreichen Aminosäuren, Salze, Fette, Zucker und Eiweiße gegenseitig verletzen.

Die Bausteine des Lebens seien sogar nichts weiter als Sklaven des Wassers, beschreibt überspitzt die Analytikerin Martina Havenith. „Wasser kickt mit seinen vielen Fluktuationen etwa gegen ein Protein, das in voller Länge entfaltet im Wasser schwimmt. Einer dieser Kicks bringt es schließlich in die richtige Ausgangsposition für den Faltungsprozess und das Protein damit in die Form, in der es schließlich wirksam sein wird.“

Genau dahinein, in den Bereich der kleinsten Bewegungen, können Havenith und ihr Kollege Martin Gruebele von der University of Illinois mithilfe der so genannten Terahertz-Spektroskopie blicken. Was sie da sehen, ist erstaunlich. Im Jahr 2008 berichteten sie im Fachmagazin *Angewandte Chemie*, dass Wasser offensichtlich



Water never comes to rest

What is paradox, however, is that these hydrogen bridges are never maintained for long, yet simultaneously display such strong cohesion that they give water its special properties. Liquid water, for example, has an extremely "jittery" interior and never comes to rest. Its molecules move in every thinkable way. They like to rotate on their own axis, for example, and constantly form and dissolve bridge bonds with their neighbours – dancing and changing partners as if part of an enormous minuet.

There are virtually no moments of rest. Thomas Elsässer, Director of the Max Born Institute for Nonlinear Optics and Short Pulse Spectroscopy in Berlin, uses special infrared measurements to demonstrate the length of time needed for a piece of information to disappear in water. He speaks of a time frame between ten femtoseconds for the molecules' own movements and a few picoseconds – that is 0.00000000001 seconds – for the lifespan of a hydrogen bridge bond. This makes it apparently clear that water cannot save any type of information – it simply has no memory. That is because with such quick reorientation and forgetfulness, neither magnetic alignments nor chemical substances can leave any lasting traces. That is why ultra-diluted homeopathic drops, which contain none of the original medicinal substance but are still claimed to have an effect, or esoteric approaches using magnets that supposedly cause permanent change to flowing water are not scientifically tenable.

Dancing water molecules

In the mighty, circular experimentation hall at BESSY, Wernet and Elsässer are working together with colleagues to construct an experiment of imposing dimensions that will ulti-

mately take place on a space of just a few nanometers. Behind BESSY's meter-thick walls stands the electron storage ring with a circumference of 240 meters. Inside of the ring, electrons rotate nearly as fast as the speed of light and generate radiation in the process – so-called synchrotron radiation. The researchers use a part of this radiation, the so-called femtosecond photons, in their experiment by directing them through a large, sophisticated series of tubes.

The noise level here is incredibly high; the interior of the ring must be kept at a vacuum and the pumps drone loudly. At the end, a steel drum the size of a washing machine contains a minuscule sample of water – contained in a 500-nanometer small space that is 150 times thinner than a human hair.

"We want to analyze the intensity and the type of hydrogen bridge bonds," Wernet and Elsässer explain. Infrared waves are used to heat the water to 50°C (122°Fahrenheit). The water molecules begin to dance and sway. The scientists then allow the water to cool and measure how the waves slowly return to normal with the help of the photons from the ring.

One of their goals in the process is to identify how strongly the individual molecules are bonded; how many water molecules are attracted to each other on average in order to form a bridge. Two, three, or four? Up until five years ago, it had been an unspoken rule that they were surrounded by approximately 3 ½ other water molecules. That would have explained water's large number of linking abilities and its special properties, and would have made sense in terms of structure.

Like a spaghetti soup

But when Wernet, Anders Nilsson of Stanford University, and Lars Pettersson of the Univer-

sity of Stockholm used so-called x-ray spectroscopy to observe water in 2004, they noticed completely different patterns. They counted a mere 2 ½ neighbours on average. Accordingly, the molecules tended to form chains and rings. Such findings would implicate that water isn't as strongly linked as previously assumed. "We really questioned everything and gave it a lot of thought before finally deciding to release the results," Wernet recalls.

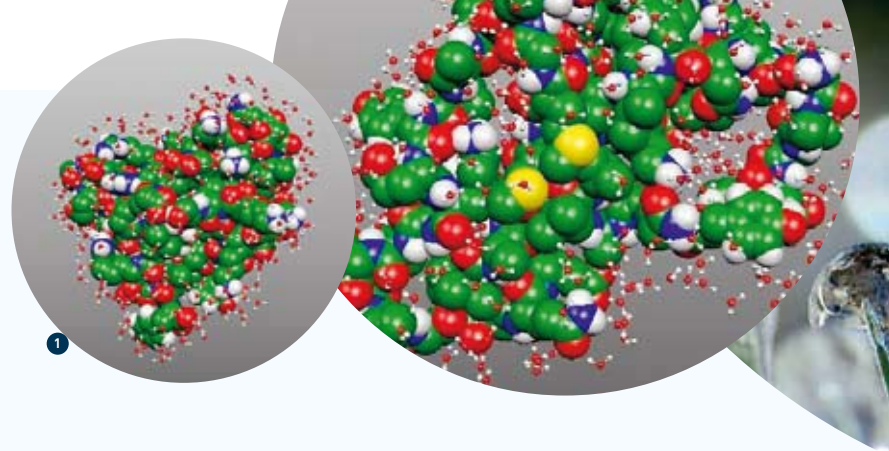
There has been plenty of criticism ever since. Even Elsässer seems hesitant, saying "the majority of water researchers don't believe in their model." Alfons Geiger from the University of Dortmund, who has been studying water's various structures using computer simulations since the 1970s, comments: "The notion of water mainly consisting of chains, more or less like a spaghetti soup, is utter nonsense." He says that water molecules are linked to 3.5 other molecules on average.

The linking capabilities of a water molecule are all the more important due to the fact that water does not only form these famous bridge bonds with molecules of its own kind. The characteristics of water also play a decisive role inside our own bodies in the form of biomolecules. Water acts as a matchmaker for individual proteins and simultaneously acts as a peacemaker – its protective barrier keeps the high number of amino acids, salts, fats, sugars, and proteins from damaging one another inside the cell interior.

To put things into exaggerated terms, analyst Marina Havenith says that the building blocks of life are nothing more than slaves of water. "The fluctuations in water can, for example, strike a protein that is swimming in an unfolded position. One of these strikes can bring it into the right starting position for the folding process, therefore putting the protein in a position where it can ultimately become effective."

- 1 Während das gefaltete Protein jedoch bis zu 1.000 Wassermoleküle in seiner Umgebung beeinflusst, gilt das für ein teilweise entfaltetes Protein nur in weit geringerem Ausmaß. / While the folded protein affects up to 1,000 water molecules in its environment, this is only true for the partly unfolded protein to a small extent.

Quelle / Source: Martina Havenith-Newen, Ruhr-Universität Bochum



lich in der Nähe der Proteine seine Beweglichkeit verlangsamt und somit vermutlich für die Stabilität derselben sorgt. „Wir konnten zeigen, dass Proteine die Beweglichkeit des Wassers über lange Reichweiten hin abbremsen“, beschreibt Havenith. So hat ein Protein Einfluss auf bis zu fünf Schichten Wassermoleküle. Grubele beschreibt dies genauer: „Wenn wir die mittleren Reichweiten unserer Messungen betrachten, gibt es im Zellinneren mit seinen vielen Botenstoffen, Proteinen und vielem mehr kein Wassermolekül mehr, welches nicht beeinflusst ist.“

Im Zellinneren gibt es kein Ausweichen. Grubele bezeichnet Wasser dort sogar als „Designerflüssigkeit“. Solches Wasser habe kaum Ähnlichkeit mit der Substanz, die wir trinken. Es habe eine andere Dynamik, einen anderen Gefrierpunkt, eine andere Dichte und mehr. Die Forschung stehe noch ganz am Anfang damit, die wahre Rolle des Wassers im Körper zu verstehen.

Jüngste Berechnungen von Dominik Marx, theoretischer Chemiker an der Ruhr-Universität Bochum, zeigten, dass Wassermoleküle im Energiestoffwechsel von Zellen mitwirken. Erst im Jahr 2003 erhielten Peter Agre und Roderick Mac Kinnon den Nobelpreis für die Erforschung der so genannten Ionenkanäle. Das Protein namens Bakteriorhodopsin transportiert dabei wie eine vom Licht angetriebene Pumpe Wasserstoffionen durch die Zellmembran, die Ionenkanäle. Marx erläutert: „Dieser Kanal könnte ohne die inneren Wassermoleküle gar nicht funktionieren.“ Sie wirken als Schwamm, der Protonen aufnehmen und abgeben kann.

Und natürlich ist es eine der zentralen Fragen, ob und wie Leben im Wasser entstanden sein könnte. Der theoretische Chemiker Dominik Marx von der Ruhr-Universität Bochum untersucht Theorien zum Ursprung des Lebens. Ein populäres Modell des Münchner Chemikers Günter Wächtershäuser geht davon aus, dass

am Grund der Tiefsee hydrothermale Quellen mit sehr heißem, mineralreichem Wasser unter Druck ideale Bedingungen für die Entstehung einfacher Lebensbausteine bieten könnten. Vier Monate rechneten viele tausend Prozessoren auf dem Supercomputer JUBL des Forschungszentrums Jülich daran. „Wir haben uns angesehen, wie und ob sich unter solchen Bedingungen mit hohem Druck und hoher Temperatur im Wasser Peptide bilden können und wichtige Teilaspekte des Szenarios per Simulation bestätigt“, so Marx.

Der kritische Punkt des Wassers

Interessant sei vor allem, dass diese Reaktionen im Wasser bei Extrembedingungen leichter ablaufen als bei Normalbedingungen. Das kennt man vom so genannten kritischen Punkt des Wassers. Dieser liegt bei 374 Grad Celsius. Nun vermuten Forscher im Tieftemperaturbereich einen zweiten derartigen kritischen Punkt. Vielleicht könnte auch Leben aus der Kälte kommen? Denn ein anderes Extrem, bei dem präbiotische Chemiker die Entstehung des Lebens vermuten, ist große Kälte. Dort könnten sich Basisstoffe des Lebens in eiskaltem Salzwasser gebildet haben, oder das Leben auf der Erde könnte aus dem All kommen.

Doch auch dafür sind besondere Bedingungen notwendig. So sind auf Planeten und Monden Reaktionen im starren Eis eher nicht zu erwarten. „Leben aus dem All müsste sich eher in amorphem Eis, den unterkühlten Flüssigkeiten, gebildet haben“, meint Eisforscher Thomas Loerting von der Universität Innsbruck. Amorphes Eis ist die häufigste Wasserform im All. Es umhüllt kleine Staubkörner, bildet Kometen und mehr.

Bereits 1992 fanden amerikanische Physiker um H. Eugene Stanley anhand einer Computersimulation Hinweise, dass bei hohem Druck und sehr tiefen Temperaturen im unterkühlten

Wasser tatsächlich ein zweiter kritischer Punkt existieren könnte. Manche bezeichnen die Forschung daran derzeit als den „heiligen Gral“ der Wasserforscher. Der Dortmunder Simulationsexperte Geiger meint: „Den zweiten kritischen Punkt halte ich für eine der noch größten offenen Fragen.“ Derzeit führt sein Team mit sehr großem Aufwand entsprechende Simulationen durch. Geiger zeigt sich noch skeptisch: „Es gibt sehr viele indirekte Beweise.“

Wasser könnte Leben aus dem All auf die Erde gebracht haben

Zu den indirekten Beweisen zählen die Erkenntnisse des experimentellen Eisforschers Loerting. Er lässt Wasserproben bei rund 2000 Atmosphären Druck in Kältestarre bis -136 Grad Celsius gleiten und misst eine amorphe Form bestimmter Dichte. Erhöht er den Druck nur um drei Atmosphären, verwandelt sich das Wasser schlagartig in eine dichtere Form. Ein möglicher Hinweis auf einen zweiten kritischen Punkt. Loerting will nun untersuchen, ob und wie Reaktionen bei tiefen Temperaturen ablaufen könnten: „Wir können Wasser noch bei -136 Grad Celsius flüssig halten und Reaktionen darin verfolgen.“ Tatsächlich könnten im amorphen Eis Peptide eingeschlossen und geschützt bleiben. „Wasser könnte durchaus Leben aus dem All auf die Erde gebracht haben“, meint Loerting. Und längst zählt die Suche nach Wasser im Weltraum zur etablierten Sportart der Wasser-Wellenreiter. Erst Ende April hat ein Forscherteam um John McKean vom niederländischen Institut für Radioastronomie die ältesten Wasserteilsignale aus dem All vermeldet. Sie müssten aus einer Zeit etwa 2,5 Milliarden Jahre nach dem Urknall stammen.

Autorin: Beatrice Lugger



To explore these miniscule movements, Havenith and her colleague Martin Gruebele from the University of Illinois use so-called Terahertz spectroscopy. What they have observed is astounding. In 2008, their report in the scientific magazine *Angewandte Chemie* stated that water appears to slow down its motion when it nears proteins, apparently giving them stability. "We were able to demonstrate that proteins slow down water's mobility over a long distance," Havenith describes. A protein can have an effect on up to five layers of water molecules. Gruebele elaborates: "If we take a look at the measurements for mid-range distances, there are no water molecules left within the cell interior, with its numerous messenger substances and proteins, that remain unaffected." Inside the cell interior, there's no escape. Gruebele even refers to the water there as being a "designer fluid". This water has very little in common with the substance we drink. It has different dynamics, a different freezing point, a different density, and more. Science still has a long way to go in understanding the true role of water in the human body.

The most recent estimates by Dominik Marx, a Theoretical Chemist at the Ruhr University in Bochum, show that water molecules play a role in a cell's energy metabolism. Peter Agre and Roderick Mac Kinnon received the Nobel Prize for their research in so-called ion channels in 2003. A protein by the name of bacteriorhodopsin transports hydrogen ions through the cell membrane, the ion channel, like a light-driven pump. "Without interior water molecules, this channel would not be able to function," Marx explains. Ion channels behave like a sponge that can both absorb and release protons. Another central issue is, of course, if and how life could have originated in water. Chemical Theorist Dominik Marx of the Ruhr University in Bochum studies theories regarding the ori-

gins of life. A popular model by Munich chemist Günter Wächtershäuser states that the extremely hot water found in hydrothermal deep-sea vents is rich in minerals and offers ideal conditions for the creation of simple life forms when under pressure. For four months, several thousand processors in the "JUBL" supercomputer at the research centre in Jülich worked on this model. "We examined if and how peptides can be formed in water under these conditions, at high pressure and at a high temperature, and confirmed important aspects of the scenario using simulations," Marx says. Especially interesting, he says, is the fact that these reactions take place more easily under extreme conditions than under normal conditions. This is what is known as the "critical point" of water, or 374°C (705°Fahrenheit). Researchers now presume the existence of a second critical point in the extremely low temperature range. Perhaps life could originate from the cold, as well? After all, prebiotic chemists suspect the origin of life to be possible at the other extreme – the extreme cold. Basic substances for life could have formed in ice-cold salt water, or life on Earth could have started in outer space.

The critical point of water

Yet for that to happen, special conditions are necessary. That is why reactions in the rigid ice of other planets and moons are not really to be expected. "Life from outer space is more likely to have originated in amorphous ice formed by ultra-chilled fluids," says ice researcher Thomas Loerting of the University of Innsbruck. Amorphous ice is the most prevalent form of water found in space. It surrounds tiny dust particles, forms comets, and more.

As early as 1992, American physicist H. Eugene Stanley used a computer simulation to find

evidence that a second critical point could indeed exist under high pressure at extremely low temperatures. Upon its release, some regarded this discovery as the "Holy Grail" of water research. Dortmund's simulation expert Geiger says, "I consider the second critical point to be one of the greatest questions yet to be answered." His team is currently investing great amounts of time and money in developing the necessary simulations. Geiger still remains sceptical: "There is a great deal of indirect evidence."

Some of this indirect evidence includes findings by experimental researcher Loerting. At around 2000 atmospheres, he let water samples amorphize to -136°C (-213°Fahrenheit) and then measured their density. When pressure was increased by just three atmospheres, and the water abruptly changed into a more dense form. This is a possible indicator of a second critical point.

Loerting now wants to investigate if and how reactions at extremely low temperatures could take place: "We could keep water in a liquid form at 136°C below zero and then study the reactions within it. Peptides could indeed be encased and protected in amorphous ice."

"It's definitely possible that water brought life from outer space down to Earth," says Loerting. The search for water in space has been, after all, a well-established athletic discipline for these wave-riders for quite some time now. Just this past April, a research team lead by John McKean from the Netherlands Institute for Radio Astronomy announced detection of the most distant signs of water in the universe. The water must have been emitted approximately 2.5 billion years after the big bang.

Author: Beatrice Lugger