



Eis – wie hier am Genfersee nach einem Wintersturm – existiert in vielen Formen. Die neue Variante schmilzt bei Temperaturen zwischen 1 und 80 Grad. MARTIAL TREZZINI / KEYSTONE

Eis ist nicht gleich Eis

Je nach Druck und Temperatur kommt Eis in verschiedenen Kristallstrukturen vor. Insgesamt 17 Varianten sind schon bekannt. Nun wurde eine weitere entdeckt. VON UTA NEUBAUER

Wasser, mit seinen kleinen, gewinkelten Molekülen aus einem Sauerstoffatom und zwei Atomen Wasserstoff, ist in seiner flüssigen Form lebenswichtig. Als Eis fasziniert es Chemiker vor allem wegen der Vielfalt seiner Kristallstrukturen. Gemeint sind hier nicht die Eisblumen, sondern die mit bloßem Auge unsichtbare Anordnung der Moleküle des gefrorenen Wassers. Neben amorphem Eis, in dem ein molekulares Durcheinander herrscht, sind 17 verschiedene kristalline Formen von Eis experimentell nachgewiesen – eine solche Mannigfaltigkeit zeigt kein anderer Feststoff. Eine 18. Variante stellte ein Team um Thomas Loerting von der Universität Innsbruck kürzlich vor.¹

Die genaue Struktur müssen die Forscher noch entschlüsseln. Sie ähnelt aber Eis 6, das wie Eis 7 auf unserem Planeten lediglich in einigen hundert Kilometern Tiefe vorkommt, wie man aus Einschlüssen in Diamanten weiss. Abgesehen von dem «normalen» Eis Nummer 1, aus dem Schneeflocken und Eiskwürfel bestehen, existieren die anderen bis anhin bekannten kristallinen Eisformen nur unter extremen Druck- und Temperaturverhältnissen. Forscher haben sie in den Weiten des Weltalls indirekt nachgewiesen, etwa auf dem eisigen Jupitermond Ganymed, und sie im Labor künstlich hergestellt.

In vielen Eisstrukturen, auch in den Sorten 1 und 6, sind nur die Sauerstoffatome periodisch angeordnet, während die Wasserstoffatome keine bestimmte Position einnehmen. Forscher bezeichnen diese teilgeordneten Strukturen als «frustrierte Kristalle». Die 18. Variante hingegen, die das Team um Loerting jetzt vorgestellt hat, ist nicht frustriert: Zusätzlich zu den Sauerstoffatomen, die auf den gleichen Plätzen sitzen wie in Eis Nummer 6, nehmen auch die Wasserstoffatome wohlgeordnete Positionen ein.

Bei der Herstellung bedienten sich die Forscher tiefer Temperaturen bis rund

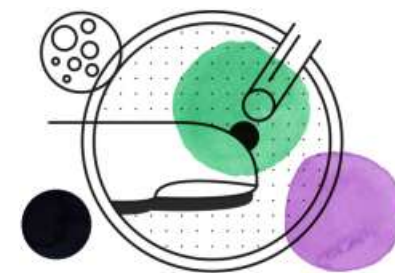
minus 200 Grad Celsius, eines Drucks von fast 20 000 bar und eines speziellen Abkühlprotokolls. Ausserdem gaben sie dem Wasser ein wenig Salzsäure als «Ordnungshelfer» zu. Das Säuremolekül wird in die Kristallstruktur eingebaut, führt aber zu Lücken, da es ein Wasserstoffatom weniger besitzt als das Wassermolekül. Diese Lücken erleichtern es den Wasserstoffatomen, geordnete Positionen einzunehmen – ungefähr so, wie sich eine Menschenmenge im Kino einfacher umsetzen kann, wenn ein paar Plätze frei sind. Die Salzsäure beschleunigt die Umorientierung, erläutert Loerting: Es dauere wenige Stunden, bis sich die neue Struktur aus Eis Nummer 6 bilde, ohne Säurezugabe müsse man vermutlich mehrere Jahre warten. Mit demselben Trick wurde vor knapp zehn Jahren schon Eis Nummer 15 hergestellt.

Wie sehr sich die verschiedenen Eisformen voneinander unterscheiden, erklärt Loerting anhand der Schmelz-

punkte: Während herkömmliche Eiskwürfel bei 0 Grad Celsius schmelzen, unter erhöhtem Druck sogar bei niedrigeren Temperaturen, liegt der Schmelzpunkt der neuen Eisform je nach Druck zwischen 1 und rund 80 Grad Celsius. Die Wasserstoffatome verlieren ihre Ordnung allerdings schon bei minus 140 Grad Celsius. Ein Schmelzpunkt bei Atmosphärendruck lässt sich für die neue Eisvariante nicht angeben, da sie nur unter Überdruck stabil ist.

Eine technische Nutzung der exotischen Eisformen hält Loerting dennoch nicht für ausgeschlossen. Eventuell lassen sich die eine oder andere Variante durch Anlegen einer elektrischen Spannung stabilisieren. Ohnehin gibt es noch einiges zu erforschen: Nicht nur für ultrahohe Drücke, auch unter Zugspannung sollten laut Berechnungen noch weitere Eisstrukturen zu finden sein.

¹ Chemical Science, 26. März 2018.



HAUPTSACHE, GESUND

Wasserkissen für Organe

Von Alan Niederer

Im Studium haben wir gelernt, dass der menschliche Körper – je nach Geschlecht und Alter – zu 50 bis 70 Prozent aus Wasser besteht. Die Hälfte davon findet sich in den Zellen, weitere 15 Prozent fließen im Herz-Kreislauf-System. Und der Rest? Der lagert irgendwo zwischen den Zellen: im sogenannten «Zwischenraum» oder Interstitium, der die Organe als Binde- oder Stützgewebe unterteilt und umhüllt.

Dieses Bindegewebe stellen wir uns immer als straffe, faserreiche Schicht vor. Wo es hier Platz geben sollte für literweise Wasser, war uns schleierhaft. Unseren Professoren wahrscheinlich auch. Denn wenn man das auf Objektträgern aufgebraute Bindegewebe unter dem Mikroskop betrachtet, sieht man massenhaft Kollagen- und Elastinfasern und dazwischen ab und zu eine spindelförmige Bindegewebszelle.

Dass dieses Bild nur die halbe Wahrheit ist, haben vor kurzem Ärzte und Forscher aus New York klargemacht. Mithilfe einer neuen Untersuchungsmethode konnten sie nachweisen, dass das Bindegewebe in Tat und Wahrheit kein kompaktes Gewebe ist, sondern aus einem Netzwerk von flüssigkeitsgefüllten Hohlräumen besteht.

Diese Wasserkissen schützten die Organe wie ein Schockabsorber vor Schlägen und Druck, schreiben die Forscher. Dass sie bisher noch nie jemand gesehen hat, hat einen einfachen Grund: Wird das Bindegewebe für die Untersuchung unter dem Mikroskop mit Chemikalien fixiert und in dünne Scheiben geschnitten, geht die Flüssigkeit verloren. Dadurch kollabieren die natürlichen Hohlräume wie die Stockwerke eines einstürzenden Hauses. Dieses Fixations-Artefakt hat während Jahrzehnten das falsche Bild vom Bindegewebe zementiert.

Wie so oft in der Medizin ist der Irrtum per Zufall entdeckt worden. Ärzte vom Mount Sinai Beth Israel Hospital in New York führten bei einem Patienten eine Untersuchung des Gallengangs durch. Sie verwendeten dafür eine spezielle Art der Endoskopie (konfokale Laser-Endomikroskopie). Damit kann das Gewebe wie unter dem Mikroskop betrachtet werden – und das beim lebenden Patienten. Bei dieser Untersuchung erblickten die erfahrenen Ärzte in den tieferen Schichten des Gallengangs etwas, was sie noch nie zuvor gesehen hatten: eine Ansammlung von miteinander verbundenen Höhlen.

Um das Rätsel zu lösen, zogen sie einen Pathologen bei. Dieser fertigte aus dem Biopsiematerial Feinschnitte für die konventionelle Mikroskopie an: Das Höhlensystem war jetzt nicht mehr sichtbar. Doch mit dem Endoskopie-Befund im Kopf konnten die Wissenschaftler auch im fixierten Präparat die kollabierten, zuvor flüssigkeitsgefüllten Kompartimente erkennen. Dass es sich dabei nicht um einen Einzelfall handelt, zeigten weitere Untersuchungen bei anderen Personen. Demnach ist das auf Wasser basierende Anti-Schock-System überall im Körper vorhanden – unter der Haut genauso wie entlang des Magen-Darm-Trakts oder in der Lunge.

Dass die Wasserkissen so lange im Verborgenen blieben, erinnert an die Geschichte vom kleinen Prinzen von Antoine de Saint-Exupéry. «Das Wesentliche ist für die Augen unsichtbar», steht dort. Auf die Medizin bezogen, müsste es heissen: Das Wesentliche ist nur mit der richtigen Technik zu erkennen.

Reisen ist klimaschädlicher als gedacht

Der globale Tourismus verursacht acht Prozent der jährlichen Treibhausgasemissionen. Amerikaner, Chinesen und Deutsche hinterlassen am meisten CO₂ – vor allem im eigenen Land.

CHRISTIAN SPEICHER

Die durch den weltweiten Tourismus verursachten Treibhausgasemissionen sind bisher deutlich unterschätzt worden. Wie Forscher der University of Sydney im Fachmagazin «Nature Climate Change» berichten, hat der globale Kohlendioxid-Fussabdruck zwischen 2009 und 2013 von 3,9 auf 4,5 Gigatonnen CO₂-Äquivalent pro Jahr zugenommen. Damit entfallen 8 Prozent der globalen Treibhausgasemissionen auf den Tourismus. Bisher war man von lediglich 2,5 bis 3 Prozent ausgegangen.

Die Forscher aus Sydney sind nicht die Ersten, die den CO₂-Fussabdruck des Tourismus zu quantifizieren versuchen. Während sich frühere Untersuchungen

In Inselstaaten wie den Malediven stammt fast der gesamte CO₂-Fussabdruck von ausländischen Gästen.

auf einzelne Aspekte konzentriert hatten, bemühte sich die Gruppe von Manfred Lenzen um ein möglichst vollständiges Bild. Zum einen berücksichtigten die Forscher neben Kohlendioxid auch andere Treibhausgase wie Methan oder Stickoxide. Zum anderen verfolgten sie die Lieferketten aller Waren und Dienstleistungen, die mit dem Tourismus im Zusammenhang stehen, und quantifizierten deren Treibhausgasemissionen.

Laut der Studie hinterliessen Amerikaner im Jahr 2013 den grössten CO₂-Fussabdruck, gefolgt von Chinesen und Deutschen. Die grössten Emissionen fielen dabei durch Reisen im eigenen Land an. Nicht so bei kleinen Inselstaaten wie den Malediven oder den Seychellen. Hier wird fast der gesamte CO₂-Fussabdruck

durch ausländische Gäste erzeugt. In diesen Staaten entfallen bis zu 80 Prozent der Emissionen auf den Tourismus. Die Autoren rechnen in den kommenden Jahren mit einer Verschärfung des Problems. Sie verweisen darauf, dass der Tourismus durch den wachsenden Wohlstand um vier Prozent jährlich zunehmen wird. Mit diesem Tempo könne die Dekarbonisierung von tourismusverwandten Technologien nicht Schritt halten.

Die Autoren sehen dringenden Handlungsbedarf. Es reiche nicht, an das Verantwortungsbewusstsein der Reisenden und der Tourismusbetreiber zu appellieren. Vielmehr müsse man darüber nachdenken, die rasant steigenden Emissionen durch CO₂-Steuern oder ein System des Emissionshandels einzudämmen.