

Physik: Kaltes, klares Wasser

20.02.2009 | 18:58 | VERONIKA SCHMIDT (Die Presse)

An der Universität Innsbruck wird die Struktur des Wassers bei weit unter null Grad erforscht. Flüssiges Wasser gibt es demnach bei minus 130, glasiges Eis.

Die „Anomalie des Wassers“: Dieser Ausdruck klingt manchem noch aus der Schulzeit in den Ohren. Eislaufen hat beispielsweise viel mit der Anomalie des Wassers zu tun: Es ist in seinem festen Zustand (Eis) leichter als in seinem flüssigen Zustand, daher schwimmt Eis auf dem Wasser. „Dass Wasser bei vier Grad seine höchste Dichte hat und nach unten absinkt, war auch für die Evolution wichtig“, sagt ein Spezialist für die Anomalien des Wassers, Thomas Lörting – vielfach ausgezeichneter Forscher am Institut für Physikalische Chemie der Universität Innsbruck und Gewinner des ERC Starting Grant (1,4 Mio. Euro). „Wenn Seen von unten her zufrieren würden, hätte sich kein Leben unter dem Eis halten können“, so Lörting. Seine Forschungen konzentrieren sich aber auf noch viel Kälteres, als es zugefrorene Seen bieten: auf unterkühltes bzw. tief unterkühltes Wasser.

Spontan gefrierender Regen ist ein bekanntes Beispiel von unterkühltem Wasser. Bei solchen Wetterlagen haben die Flüssigkeitströpfchen in der Luft bis zu minus drei Grad – eine Temperatur, bei der Wasser eigentlich gefroren sein müsste. „Die Tröpfchen sind so keimfrei, dass sie nicht kristallisieren. Erst wenn das Wassertröpfchen auf den Boden trifft, gefriert es spontan und bildet spiegelglatte Oberflächen“, so Lörting. Im Labor ist es schon lange möglich, unterkühltes Wasser bis zu minus 38 Grad flüssigzuhalten. Bei tieferen Temperaturen gefriert es aber blitzartig.

Verschiedene Formen von Eis

„Das Lustige ist, dass unterkühltes Wasser noch viel anomaler ist als Leitungswasser“, sagt Lörting. Je tiefer man Wasser unterkühlt, desto größer wird die spezifische Wärmekapazität – so bezeichnet man die Energiemenge, die man braucht, um Wasser um ein Grad zu erwärmen. Bisherige Theorien sagten voraus, dass nicht einmal eine unendlich hohe Energiemenge reichen würde, um Wasser von minus 45 auf minus 44 Grad zu erwärmen. „Das verwirrte die Thermodynamiker.“ Zur Klärung dieses Mysteriums wurden Theorien erstellt: Wenn sich Wasser trotz Energiezufuhr nicht erwärmt, dann verändert es eben seinen Zustand. Aber welcher Zustand soll das sein? Man konnte es nicht messen, denn bei minus 38 Grad war Schluss mit realen Messwerten.

Erwin Mayer vom Innsbrucker Institut für Allgemeine und Anorganische Chemie fand als Erster eine Methode, Wasser so schnell abzukühlen, dass den Molekülen gar keine Zeit bleibt, sich als Kristalle anzuordnen. „Es genügte nicht, die Tröpfchen in flüssigen Stickstoff zu werfen“, so Lörting. Dort erreichen die Tropfen zwar die Temperatur von minus 196 Grad, aber „nur“ bei 1000 Grad Abkühlung pro Sekunde. Bei der von Mayer entwickelten Methode werden nun kleine Wassertröpfchen in eine Vakuumapparatur geschleudert und landen dort auf einer minus 196 Grad kalten Platte. Abkühlungsrate: mehr als eine Million Grad pro Sekunde. So schnell kann sich kein Eiskristall bilden – die Forscher hatten einen neuen anomalen Zustand geschaffen: amorphes Eis. „Im Mikroskop sieht die Atomanordnung aus wie flüssiges Wasser. Doch es fühlt sich wie ein Festkörper an und sieht aus wie glasiges Eis“, so Lörting. Die Untersuchung dieses außergewöhnlichen Zustandes von Wasser klappt nur in Geräten, die auch auf die Temperatur von flüssigem Stickstoff gekühlt sind.

Zähflüssiges Wasser

Wozu das gut ist? „Hier auf der Erde existiert gefrorenes Wasser in seiner kristallinen Form. Doch das ist die große Ausnahme im Universum. Auf Kometen und am interstellaren Staub kommt genau dieses amorphe Eis vor, das wir im Labor erzeugen.“ Auch für die Erforschung unseres Erdenlebens eignet sich das superschnelle Tiefkühlen: In der Kryomikroskopie kühlt man Gewebeprobe mit „High Speed“ ab, sodass sich keine Kristalle bilden können. Diese würden mit ihren scharfen Kanten das Gewebe zerschneiden. Im glasigen Eis kann man die Proben bis ins letzte Detail betrachten.

An amorphem Eis wurde erstmals die oben erwähnte Theorie der verschiedenen Zustände experimentell getestet: „Quetscht man das amorphe Eis, springt es ganz plötzlich in eine zweite Form um. Wasser kann also tatsächlich in zwei verschiedenen Zuständen vorliegen, ohne dass sich an den H₂O-Molekülen etwas ändert.“

Damit endet die Faszination des „eiskalten“ Wassers noch nicht. „Erwärmt man das amorphe Eis, so wird es ab einer Temperatur von minus 137 Grad wieder flüssig. Noch viel zähflüssiger als Honig, aber eben flüssig“, so Lörting. Tief unterkühltes Wasser nennen das die Forscher, und hier konnten sie beweisen, dass zwei Zustände der Flüssigkeit zugleich vorkommen können. „Das muss man sich vorstellen wie eine Mischung aus Öl und Wasser. Aber es ist Wasser und Wasser!“ Im Laufe der Jahre konnten die Wissenschaftler also viele Zustände des Wassers unter Null Grad erforschen und Theorien endlich testen.

Das einzige „Niemandland“ ist noch der Bereich zwischen minus 45 und minus 120 Grad: Dort gibt es immer Eiskristalle, egal welche Tricks man anwendet. Doch das ist nur ein Ansporn für die Forscher, auch dieses Geheimnis zu lösen. Neben dieser Grundlagenfrage bieten die Innsbrucker ihr Wissen auch für technische Anwendungen an, wie die Verbesserung von Wasserstrahlschneidern in der Lebensmittelindustrie: So kann zum Beispiel Tiefkühlspinat noch reiner und schneller geschnitten werden.