

# Das Rätsel von Mpemba

Wenn eine warme Flüssigkeit schneller gefriert als eine kalte, spielen möglicherweise Strömungsbewegungen die entscheidende Rolle.

Wenn das Wasser vorher erwärmt ist, dann kühlt es schneller ab.  
Aristoteles (384–322 v. Chr.)

Sagt Ihnen Mpemba etwas? Hinter dem fremdartigen Namen steckt das ungewöhnliche Phänomen, dass heißes Wasser unter sonst gleichen Bedingungen schneller gefriert als kaltes. Der »Mpemba-Effekt« scheint der physikalischen Intuition zu widersprechen. Denn zuerst denkt doch wohl jeder an ein Szenario wie dieses: Zwei gefüllte Behälter, die sich nur in der Wassertemperatur unterscheiden (zum Beispiel 20 und 70 Grad Celsius), werden gleichzeitig abgekühlt. Das zu Beginn 70 Grad heiße Wasser wird nach einiger Zeit bei 20 Grad angekommen sein. Ab da hat es noch denselben Weg vor sich, den der Inhalt des Gefäßes mit anfangs 20 Grad bereits ein Stück weit hinter sich hat. Also wird das wärmere Wasser später gefrieren – logisch, oder?

Bereits Aristoteles bemerkte das merkwürdige Geschehen. Seitdem äußerten sich immer wieder Naturfor-

scher dazu, etwa Roger Bacon (1214–1292) und René Descartes (1596–1650). Auch dem ersten deutschen Professor für Experimentalphysik Georg Christoph Lichtenberg (1742–1799) war bekannt, dass »gekochtes Wasser, welches sehr warm in ein kleines Zuckerglas gegossen und mit ungekochtem kaltem Wasser zugleich der Kälte ausgesetzt wurde, eher gefror als das letztere«.

In der Moderne geriet die Erscheinung wieder in Vergessenheit, bis der tansanische Schüler Erasto Mpemba in den 1960er Jahren beim Eismachen den fortan nach ihm benannten Effekt wiederentdeckte. Zahlreiche Untersuchungen folgten. Diese haben zwar vor Augen geführt, wie komplex das Problem ist – von einer einheitlichen, allgemein akzeptierten Erklärung kann aber nach wie vor nicht die Rede sein.

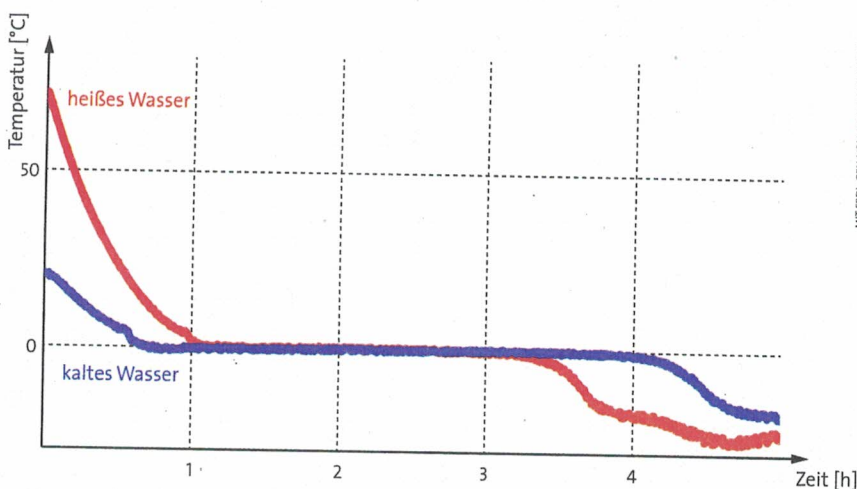
Die Hauptschwierigkeit dabei, die Ursache zu finden, besteht darin, die

zahlreichen Einflussfaktoren experimentell unter Kontrolle zu bringen und die wesentlichen zu identifizieren. Einige Wissenschaftler hielten die stärkere Verdunstung des heißen Wassers und den entsprechenden Flüssigkeitsverlust für entscheidend. Man kann jedoch den Mpemba-Effekt ebenso in abgedeckten Behältern messen, so dass dieses Argument nicht überzeugt. In anderen Arbeiten halten Forscher im Wasser gelöste Stoffe – wie etwa Luft – für ausschlaggebend. Doch diese These ist nicht stichhaltig, weil sich das Phänomen bei vorher gekochtem und demineralisiertem Wasser ebenfalls zeigt.

## Aus innerem Antrieb umgewälzt

Häufig friert Wasser nicht genau bei null Grad, sondern erst bei tieferen Temperaturen. Mancher wird das von Mineralwasser kennen, das im Eisfach gelegen oder in einer frostigen Winternacht auf dem Balkon gestanden hat. Der Kristallisationsvorgang beginnt oft erst beim Öffnen der Flasche, vollzieht sich dann aber ziemlich flott. Einige Arbeiten zum Mpemba-Effekt kommen daher zu dem Ergebnis, das ursprünglich heiße Wasser werde weniger unterkühlt und somit zuerst fest. Doch dagegen spricht, dass das anfangs heiße Wasser auch dann früher gefriert, wenn keine Unterkühlung auftritt oder diese verhindert wird.

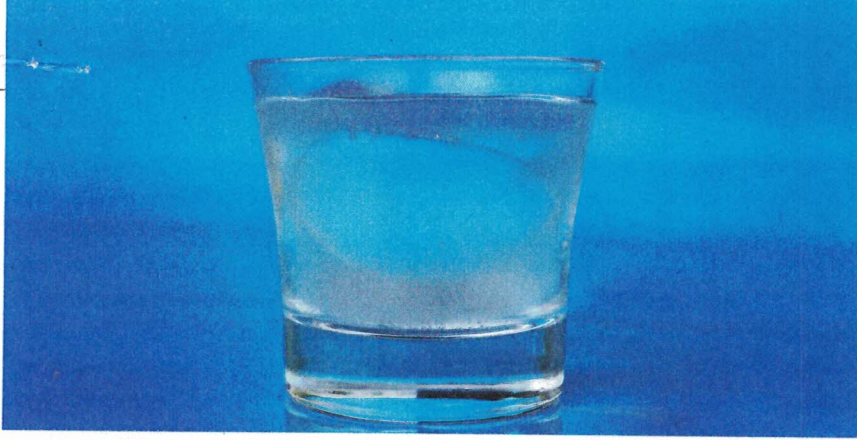
Schließlich gibt es noch einen wesentlichen Unterschied zwischen heißem und kaltem Wasser: In ersterem beeinflusst die Konvektion den Wärmeaustausch viel stärker. Das sind schwerkraftbedingte Strömungen, bei denen



MIT FREILEGEN VON JULIAN SCHNEIDER

Werden 72 Grad Celsius heißes (rote Kurve) und 20 Grad kaltes Wasser (blau) gleichzeitig abgekühlt, sinkt die Innentemperatur der anfangs wärmeren Flüssigkeit früher unter null Grad, sie ist also zuerst vollständig gefroren. Die Messwerte entstanden bei einer Versuchsreihe im Rahmen eines »Jugend forscht«-Projekts des Schülers Julian Schneider.





In einem Glas mit Wasser frieren zuerst die Oberfläche und die Seiten, die Kontakt zur kalten Umgebung haben. Das sorgt für eine isolierende Eisschicht, während im Inneren lange ein flüssiger Bereich verbleibt. In anfangs wärmeren Flüssigkeiten wälzen Konvektionsströme den Inhalt stärker um, so dass er schneller komplett zu Eis wird.

das an der Oberfläche gekühlte Wasser absinkt, weil es dichter ist (jedenfalls solange das Wasser wärmer als vier Grad Celsius ist, wo es seine größte Dichte hat). Aufsteigendes heißes Wasser ersetzt es. So hält sich an der Oberfläche ständig eine höhere Temperaturdifferenz und damit ein stärkerer Wärmestrom zur Umgebung.

Das kennt jeder, der schon einmal etwa seine Suppe durch Rühren heruntergekühlt hat. Bei der heißen Wasserprobe läuft der Mechanismus gleichsam selbst organisiert ab. Aus diesem Grund halten es einige Wissenschaftler für möglich, dass die Konvektion allein in der Lage sein könnte, den Mpemba-Effekt hervorzurufen. Einen Beweis dafür gab es bislang aber noch nicht.

Vielleicht ist es dem Schüler Julian Schneider aus Rottweil im Rahmen seines Projekts für »Jugend forscht« 2015

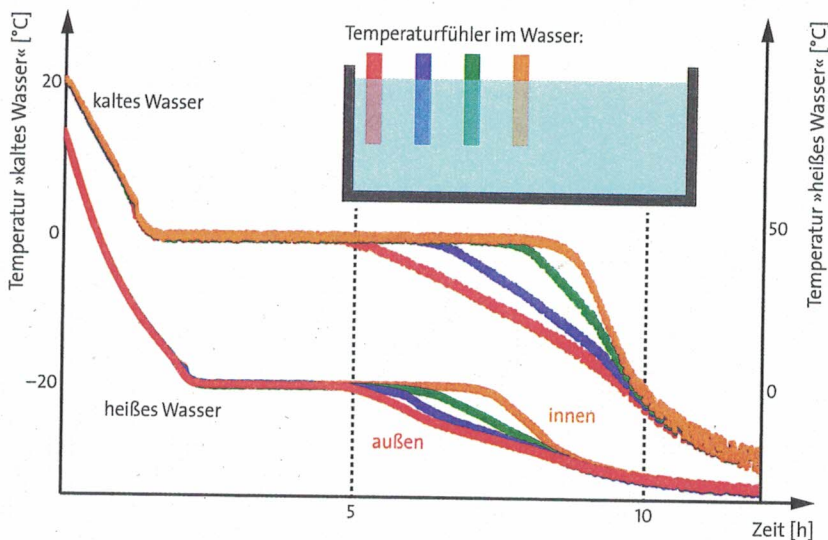
gelingen, diesen Nachweis zu führen. Jedenfalls demonstrierte er mit ausgeklügelten Experimenten die überragende Rolle der Konvektion im anfangs heißen Wasser. Systematisch konnte er zunächst einige Vorgänge ausschließen, die bis dahin als Favoriten für die Ursache des Mpemba-Effekts galten.

Um die inhomogene Temperaturschichtung zu dokumentieren, hat Julian Schneider mit speziellen Messfühlern Werte an verschiedenen Stellen im Behälter aufgezeichnet. Dabei zeigte sich, dass wegen der von Anfang an vorhandenen kräftigen Konvektion das heiße Wasser selbst dann noch schneller abkühlte, als es sich bereits unterhalb der Starttemperatur des kalten Wassers befand. So gefror es rascher vollständig. Auch unterhalb von vier Grad Celsius, wo sich die Dichteverhältnisse im Wasser umkehren, dominierte

die Konvektion in der ehemals heißen Flüssigkeit.

Doch wie ist es möglich, dass sich das ursprünglich warme Wasser, wenn es selbst abgekühlt ist, sogar dann noch schneller bewegt als das kalte? Dazu muss man sich die Wärmeverteilung etwas genauer ansehen. Obwohl die Durchschnittstemperatur dieselbe ist, herrscht ein größerer Unterschied zwischen innen und außen als beim kälteren Wasser. Daher bewegt sich dieses langsamer und kristallisiert schneller an den Wänden, was wachsende isolierende Eisschichten erzeugt. Wir haben es hier also mit der paradox erscheinenden Situation zu tun, dass das kühlere Wasser unter anderem deshalb langsamer durchfriert, weil es an den Grenzschichten zur Luft früher gefriert.

Dieser Einfluss der Wasserbewegung auf den Wärmeaustausch führt offenbar dazu, dass sich der scheinbare Vorteil der niedrigeren Starttemperatur beim kalten Wasser schließlich als Nachteil erweist. Ob mit Julian Schneiders Erklärung der Mpemba-Effekt nun aber endgültig entzaubert ist, bleibt abzuwarten. Schließlich war das Phänomen schon einige Male für Überraschungen gut. ~



MIT FROLDGEN VON JULIAN SCHNEIDER

Mit mehreren Temperaturfühlern im Gefäß lässt sich nachverfolgen, dass in beiden Behältern das Wasser zuerst am Rand gefriert und zuletzt in der Mitte. Beim anfangs heißeren Wasser (Temperaturskala rechts) vollzieht sich das aber wesentlich schneller, vermutlich, weil lange nachwirkende Konvektionsströme den Wärmeaustausch begünstigen.

### QUELLEN

**Jeng, M.:** The Mpemba Effect: When can Hot Water Freeze Faster than Cold? In: American Journal of Physics 74, S. 514–522, 2006

**Schneider, J.:** Der Mpemba-Effekt und seine Ursache. Ausarbeitung für »Jugend forscht«, Rottweil 2014

Dieser Artikel im Internet:  
[www.spektrum.de/artikel/1356009](http://www.spektrum.de/artikel/1356009)