

## Eis in Wasser verschiedener Temperatur

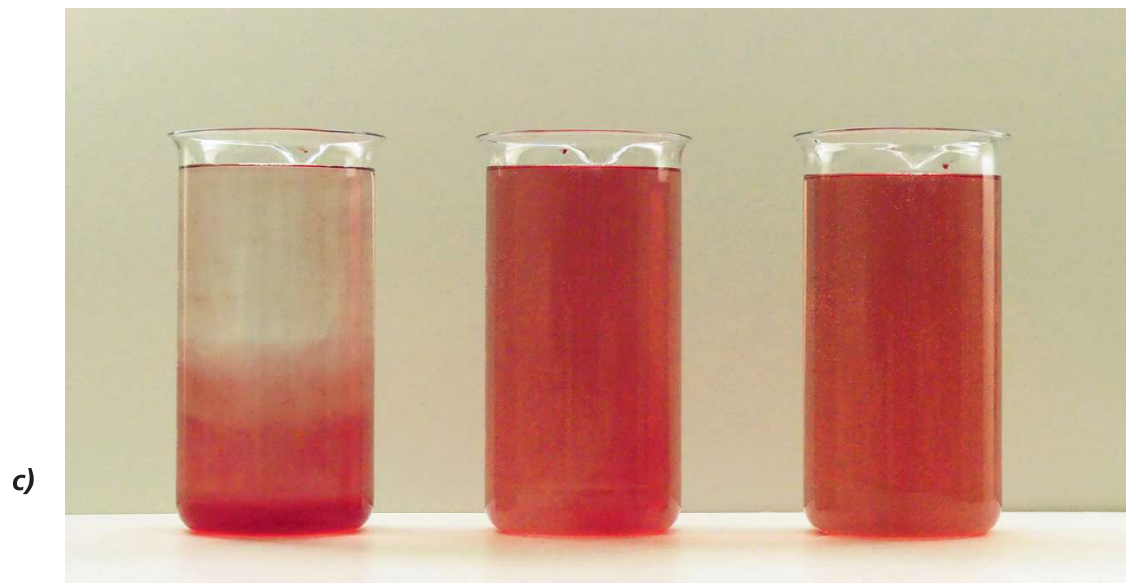
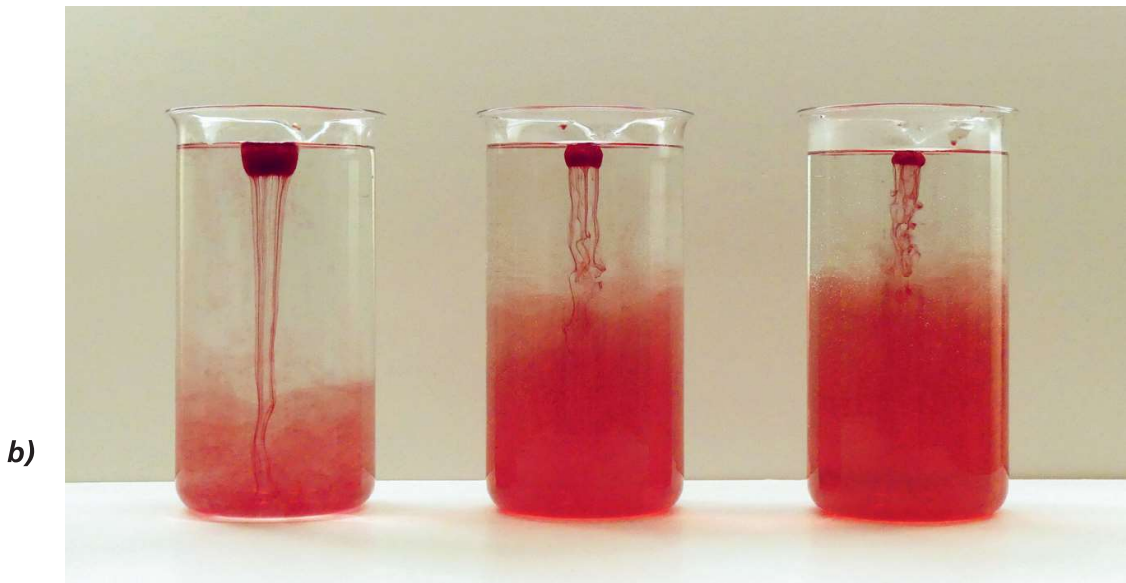
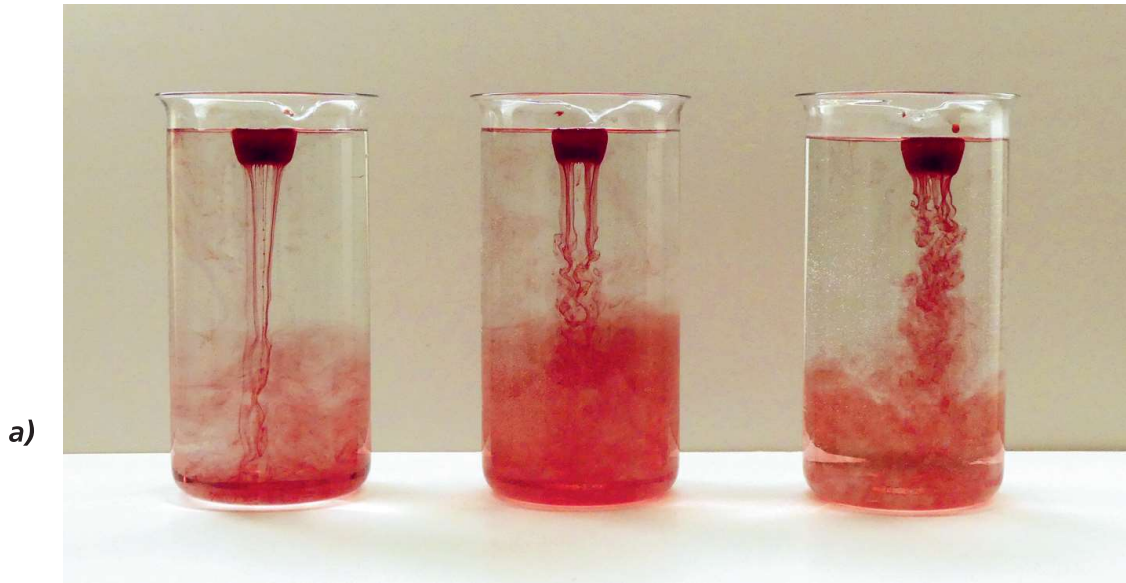
Auf der Jubiläumstagung 60+1 des Strömungsinstituts im Sommer 2022 zeigte ein kleines Experiment, wie Wasser je nach Wassertemperatur gefärbtes Eis verschieden auflöst. Nicht nur die Geschwindigkeit des Schmelzens ändert sich mit der Temperatur, auch die geschmolzene Flüssigkeit bewegt sich im Wasserraum unterschiedlich. Die verwendeten farbigen Eiswürfel bestanden aus Rote-Beete-Sud (Kochwasser von rote Beete, für den Versuch durch ein Teefilterpapier gegeben). Hier möchte ich dieses Experiment darstellen – und zugleich anregen, es selbst auszuprobieren, um auch die Bewegung der Flüssigkeit beobachten zu können.

### *Erster Versuch*

Hier ist der Auflösevorgang bei drei zu Beginn des Versuchs unterschiedlichen Temperaturen dargestellt: 15°C (etwa wie kaltes Wasser aus der Wasserleitung), 55°C (typisch für heißes Wasser aus der Wasserleitung), 37°C (Temperatur des menschlichen Körpers). Mit einer Küchenzange wurden die Eiswürfel direkt nacheinander in die Gefäße gegeben, sehr vorsichtig und langsam, damit beim Eintauchen so wenig Bewegung wie möglich entsteht. Als erstes wurde ein Eiswürfel in das Gefäß mit dem kalten Wasser gelegt, dann einer ins Wasser von Körpertemperatur und als letztes einer ins Gefäß mit dem heißen Wasser. In Abbildung 1a lässt sich diese Zeitverzögerung gut sehen: Der Eiswürfel im heißen Wasser ist noch größer als der im Wasser von anfangs 37°C, auch ist das heiße Wasser im unteren Gefäßbereich noch weniger stark gefärbt. Mit dem Eintauchen der Eiswürfel ins Wasser entstehen farbige Schleier, die nach unten sinken. Dies geschieht je nach Temperatur des umgebenden Wassers unterschiedlich: Im warmen und heißen Wasser ist das Absinken von einer starken Wirbelbildung begleitet, diese beginnt erst nach einer kurzen wirbelfreien Absinkbewegung. Im kalten Wasser entstehen hingegen dünne Farbschleier, die fadenförmig und vor allem im unteren Gefäßbereich manchmal wellig oder in feinen Wirbeln nach unten sinken. Während des Abschmelzens – am ehesten im heißen Wasser – verändert der Eiswürfel manchmal plötzlich seine Lage, und die Richtung des Absinkens ändert sich. In Abb. 1b im Vergleich zur Abb. 1a ist dies im Gefäß mit dem ursprünglich 55°C heißen Wasser zu sehen.

### **Abb. 1 (rechte Seite):**

*Eiswürfel aus Rote-Beete-Sud lösen sich in Wässern verschiedener Temperatur auf. Wassertemperaturen zu Versuchsbeginn 15° C (links), 37° C (Mitte), 55° C (rechts). a) Beginn des Auflösevorgangs b) etwa eine Minute später c) etwa eine halbe Stunde später*



Nachdem sich die Eiswürfel aufgelöst haben – im kalten Wasser dauert dies etwa sieben Minuten –, ist in allen Gefäßen das Wasser im oberen Bereich noch klar (ohne Bild, siehe auch Abb. 2c). Im heißen Wasser und zeitverzögert im Wasser von Körpertemperatur steigen dann langsam rötliche Schleier nach oben, der gesamte Wasserraum färbt sich allmählich rötlich. Im kalten Wasser hingegen bleibt der obere Bereich des Gefäßes klar; am Gefäßboden bildet sich unten eine tiefrote Schicht und darüber ein schwächer rot gefärbter Bereich. Abbildung 1c zeigt dies etwa eine halbe Stunde nach dem Eintauchen der Eiswürfel.

### *Zweiter Versuch*

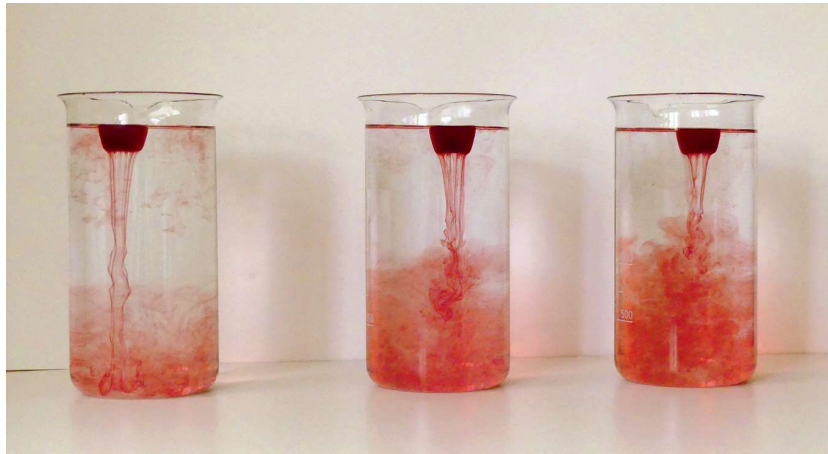
Hier wurden die Wassertemperaturen verändert: Statt heißem Wasser (55°C) wurde als drittes ein Wasser von anfangs 27°C gewählt, also eine Temperatur zwischen dem kalten Wasser (15°C) und dem Wasser von Körpertemperatur (37°C). Auch in diesem lauwarmen Wasser sinkt der geschmolzene Rote-Beete-Sud wirbelbildend ab. Abbildung 2a zeigt den Auflösevorgang eine kleine Weile nach dem zeitversetzten Eintauchen der Eiswürfel: Der Eiswürfel im zuerst 37°C warmen Wasser ist bereits kleiner als der im lauwarmen Wasser. Noch während sich die Eiswürfel auflösen, ist die rötliche Schicht im Gefäß mit ursprünglich 37°C warmem Wasser größer als im Gefäß mit Wasser von anfangs 27°C (Abbildung 2b). Nach einer halben Stunde, wenn das warme Wasser wie im ersten Versuch bereits gleichmäßig rötlich gefärbt ist, sind im Wasser von anfangs 27°C sehr langsame, große, aufsteigende Bewegungen aus dem unteren, rötlich gefärbten Bereich zu sehen (Abbildung 2c). Am Folgetag ist auch dieses Wasser gleichmäßig gefärbt. Im kalten Wasser bildet sich wie im ersten Versuch eine tiefrote dunkle Schicht am Gefäßboden. Im diesem Versuch ist es gelungen, den Eiswürfel sehr behutsam ins Gefäß zu legen, und die Schichtung ist sehr deutlich. Sie ist noch am folgenden Tag vorhanden, wobei das klare Wasser im oberen Bereich des Gefäßes über Nacht eine leicht rötliche Färbung annimmt (Abbildung 2d).

### **Abbildung 2 (rechte Seite):**

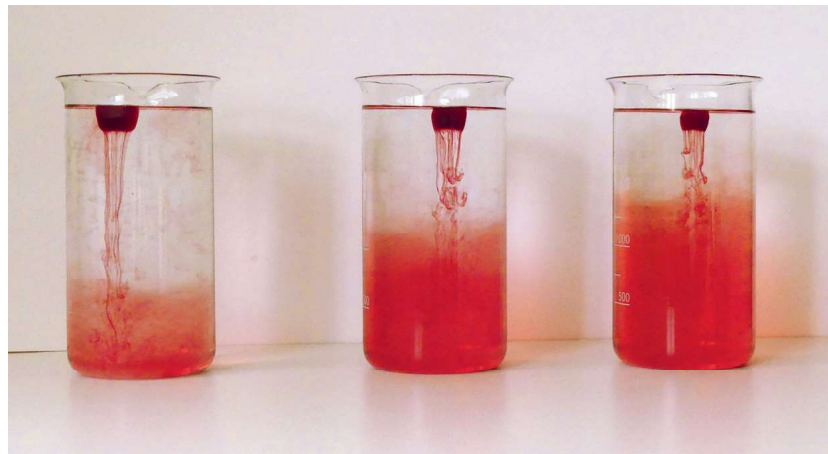
*Eiswürfel aus Rote-Beete-Sud lösen sich in Wässern verschiedener Temperatur auf. Wassertemperaturen zu Versuchsbeginn 15° C (links), 27° C (Mitte), 37° C (rechts).*

- a) kurz nach Beginn des Auflösevorgangs*
- b) etwa eine Minute nach Beginn des Auflösevorgangs*
- c) etwa eine halbe Stunde nach Beginn des Auflösevorgangs*
- d) am darauffolgenden Tag*

a)



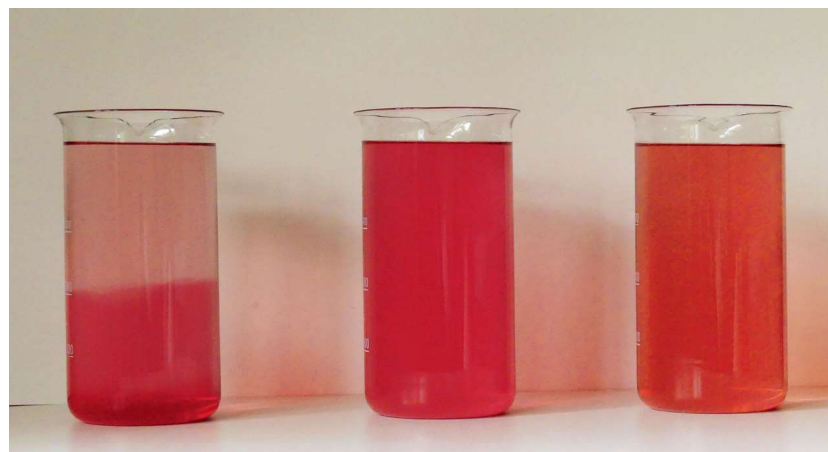
b)



c)



d)





### *Erkenntnisse*

Schauen wir auf die physikalische Seite des Phänomens, so können wir sagen: Bereits beim Eintauchen ins Wasser erwärmt sich der zunächst noch gefrorene Sud und beginnt zu schmelzen. Der kalte, geschmolzene Rote-Beete-Sud hat eine höhere Dichte als das umgebende Wasser und sinkt ab. Im Absinken erfährt er eine weitere Erwärmung und seine Zähigkeit und Dichte ändern sich. (Die Zähigkeit ändert sich mit der Temperatur sehr stark, die Dichte weniger stark.) Auch in den Begegnungszonen mit dem umgebenden Wasser ändern sich Temperatur, Zähigkeit und Dichte der Flüssigkeit. Die Unterschiede zum umgebenden Wasser verringern sich während des Absinkens und Wirbel entstehen in der absinkenden Bewegung. Die Wirbelbildung ist umso intensiver, je heißer das Wasser ist – und doch setzt sie nicht direkt unter den Eiswürfeln beim größten Temperaturunterschied des geschmolzenen Sudes zum umgebenden Wasser ein. Zuerst gleichen sich im Absinken die Wärmeverhältnisse an, erst dann beginnen die Wirbel. Im lauwarmen, warmen und heißen Wasser sind es so viele Wirbel, dass sie allmählich den gesamten Wasserraum in langsame Bewegung bringen; auch feine Dichteunterschiede tragen zu dieser langsamen Bewegung bei. Im kalten Wasser sind es nur wenige Wirbel im unteren Gefäßbereich und es entsteht eine stabile Schichtung; Diffusion lässt im Laufe der Zeit sehr langsam auch das vorher klare Wasser im oberen Gefäßbereich leicht rötlich werden.

Wollen wir das Charakteristische der Phänomene qualitativ beschreiben, können wir sagen: Wärme löst feste Formen auf, sie bringt alles in Bewegung. Die Bewegung beginnt lokal und intensiv, dann wird sie großräumig und verteilt alles, was das Wasser aufgenommen hat. In der Begegnung von wärmeren und kälteren Flüssigkeitsbereichen können Wirbel, also Prozesse der Gestaltbildung entstehen. Die Wärme – die mit ihr einhergehenden Temperaturunterschiede innerhalb der Flüssigkeit – öffnet das Wasser für diese Gestaltbildende Ebene, in der im Strömungsgeschehen eine nicht-materielle Gesetzmäßigkeit von Strömungsformen aufleuchtet, die entstehen und wieder vergehen. Schauen wir auf die Erde und auf das Wasser der Erde, so können wir erkennen, dass im rhythmischen Wechsel von Tag und Nacht, Sommer und Winter ständig Temperaturveränderungen geschehen. Diese sind für einen Wasserraum niemals gleichmäßig und Temperaturunterschiede entstehen, die das Wasser in Bewegung bringen und es für Gestaltbildung öffnen.

*Imke Naudascher*