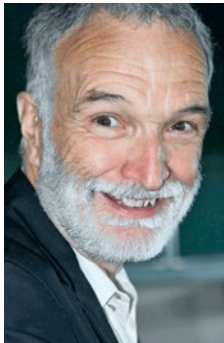


SCHLICHTING! SKURRILE EISPODESTE AUF DEM BAIKALSEE



Selbst bei lang anhaltenden tiefen Temperaturen kann die Eisdecke eines Sees allmählich schrumpfen. Das liegt an der Wärmestrahlung des Tageslichts. Aufliegende Steine schirmen diese unter sich ab, während das restliche Eis abgetragen wird. Sie finden sich daher schließlich auf einer Säule balancierend wieder.

H. Joachim Schlichting war Direktor des Instituts für Didaktik der Physik an der Universität Münster. Seit 2009 schreibt er für »Spektrum« über physikalische Alltagsphänomene.

» spektrum.de/artikel/1950082

Das Schöne ist eine Manifestation geheimer Naturgesetze

Johann Wolfgang von Goethe (1749–1832)

► In unseren Regionen trifft man auf einem zugefrorenen Gewässer zuweilen Steine, Blätter und Äste an, die sich in einer Mulde befinden, so als wären sie dort unter dem eigenen Gewicht eingesunken (siehe »Schmelzabdruck«). Der Eindruck trügt. Vielmehr absorbieren sie die direkte Sonnenstrahlung und erwärmen sich deswegen über den Gefrierpunkt hinaus. Bei nicht allzu tiefen Temperaturen entsteht zunächst Schmelzwasser und dann mit dessen Verdunstung eine passgenaue Mulde, die bei länger andauernder Sonneneinwirkung immer tiefer wird. Das Eis an sich ist weitgehend transparent und nimmt nur wenig Sonnenenergie auf. Es wird an unberührten Flächen in der Umgebung also kaum angegriffen.

Manchmal lässt sich aber eher das Umgekehrte beobachten, etwa bei lang anhaltenden tiefen Temperaturen auf schneefreien, zugefrorenen Seen wie dem Baikalsee in Sibirien. Dort sind Steine zwar ebenfalls von einer Mulde umgeben, nur statt darin zu liegen, scheinen sie vielmehr darüber zu schweben. Tatsächlich werden sie von einem schmalen Eispodest getragen, das aus der Vertiefung herausragt. Wegen der visuellen Ähnlichkeit zu meditativ genutzten Steintürmchen werden solche Fundstücke gelegentlich als Zen-Steine bezeichnet (siehe »Zen-Stein«).

SCHMELZABDRUCK Auf dem Eis liegende Blätter und andere Objekte absorbieren sichtbare Sonnenstrahlung. Daraufhin geben sie Wärme an das Eis ab.



Die Kontur der Zen-Steine erinnert an pilzartige Felsformationen, wie sie beispielsweise im türkischen Kappadokien zu bewundern sind. Solche »Feenkamine« entstehen, indem härteres Gestein, das auf weicherem liegt, an manchen Stellen die Erosion durch Wasser und Wind abschirmt und damit verzögert.

Es war bereits bekannt, dass die Erosion auch beim Entstehen der Zen-Steine eine wesentliche Rolle spielt.

H. JOACHIM SCHLICHTING



ZEN-STEIN Wie eine Skulptur auf einem Podest erhebt sich über dem Baikalsee ein Stein aus einer Mulde im Eis.

VLADIMIR / GETTY IMAGES / ISTOCK

Bisher ließ sich allerdings nicht erklären, welcher Mechanismus bei derart tiefen Temperaturen das Eis so stark abträgt. Denn einerseits ist die direkte Sonneneinstrahlung jahreszeitlich bedingt sehr schwach und zum anderen erfolgt die Strukturbildung der Zen-Steine unabhängig davon, ob und aus welcher Richtung die Sonne scheint.

Im Oktober 2021 haben die Physiker Nicolas Taberlet und Nicolas Plihon von der Universität Lyon das Problem gelöst. Sie konnten sowohl experimentell als auch anhand eines physikalischen Modells zeigen, dass die Erosion durch die Sublimation von Eis bewirkt wird. Beim Sublimieren einer Substanz geht diese direkt vom festen in den gasförmigen Zustand über. Das flüssige Stadium wird sozusagen übersprungen. Das ist kein ungewöhnlicher Vorgang – im Winter verschwindet Schnee selbst in unseren Breiten unter bestimmten Bedingungen, ohne zuvor flüssig geworden zu sein (siehe »Spektrum« Februar 2020, S. 78). Ein solcher unmittelbarer Übergang geschieht außerdem beispielsweise beim festen Kohlenstoffdioxid, das umgangssprachlich bezeichnenderweise Trockeneis heißt und bei Umgebungstemperatur in einer stürmischen Reaktion gasförmig wird (siehe »Spektrum« November 2009, S. 52).

Bei der Sublimation von Eis finden Schmelzen und Verdampfen gewissermaßen gleichzeitig statt. Daher muss die dazu nötige Wärme für beides auf einmal aufgebracht werden; obendrein ist beim Wasser jeweils relativ viel Energie dafür erforderlich. Woher stammt sie? Eis absorbiert Licht sichtbarer Wellenlängen kaum. Deswegen kommen fast ausschließlich die langwelligeren Anteile des diffusen Tageslichts in Frage, das aus allen Richtungen einstrahlt.

Aus dessen Intensität lässt sich die Rate der Eiserosion durch Sublimation abschätzen. Hier zeigt sich: Der Schwund geht sehr langsam vonstatten. Dabei schirmt ein auf dem Eis liegender Stein die unter ihm befindliche Fläche ab und schützt sie vor Verlusten. So senkt sich allmählich das Eisniveau außerhalb des Schattens und

der Stein bleibt auf einem Podest liegen. Dieses scheint aus der sinkenden Eisfläche herauszuwachsen und wird der diffusen Strahlung des Tageslichts stärker ausgesetzt. Dadurch trifft die von überall kommende Wärme auf die zunehmend hohen Seiten der Eissäule, die zu einem immer schmaleren Stiel erodiert – der schließlich unter dem Gewicht des Steins bricht.

Taberlet und Plihon haben ihre Theorie durch Laborexperimente abgesichert. Sie führten sie in einer Vakuumkammer durch, wie sie zur Gefriertrocknung etwa von Lebensmitteln verwendet wird. Bei den dort herrschenden niedrigen Drücken und Temperaturen konnten die beiden Physiker die Sublimationsrate wesentlich erhöhen und damit die Erosionsdauer entsprechend verkürzen. Sie stellten die Geschehnisse auf dem Baikalsee gewissermaßen im Zeitraffer nach.

Statt Steine verwendeten sie kleine Metallplatten. Diese wurden mit dem Schrumpfen der umliegenden Eisschicht in der Kammer schnell auf ein immer höheres und schmaleres Podest gehoben. Bei Versuchen mit Plättchen unterschiedlicher Art war der Effekt unabhängig vom Material. Insbesondere spielte die Wärmeleitfähigkeit des Stoffs keine Rolle.

Bei einem näheren Blick fällt auf: Ähnlich wie bei den eingangs genannten Blättern auf hiesigen zugefrorenen Flächen bildet sich unter den Zen-Steinen ebenfalls eine Mulde. Denn sie absorbieren – anders als Eis – auch Energie im sichtbaren Bereich des Tageslichts und geben diese als Wärmestrahlung an die Umgebung ab. Das erodiert die in unmittelbarer Nähe befindliche Eisfläche zusätzlich. Hier zu Lande bringt das die Unterlage üblicherweise zum Schmelzen, in Sibirien aber erhöht es wegen der sehr tiefen Temperaturen lediglich die Sublimationsrate.

QUELLE

Taberlet, N., Plihon, N.: Sublimation-driven morphogenesis of Zen stones on ice surfaces. PNAS 118, e2109107118, 2021