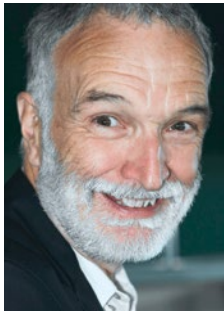


SCHLICHTING! ZWITSCHERN AUF DÜNNEM EIS



Wer auf einer zugefrorenen Eisfläche Schlittschuh läuft oder Steine hüpfen lässt, erzeugt manchmal hohe, lang gezogene Töne, die nicht von dieser Welt zu stammen scheinen.

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/1681238

Das Eis, es muß doch tragen. Wer weiß!

Friedrich Wilhelm Güll (1812–1879)

► Ruhige Gewässer laden dazu ein, flache Steine über das Wasser springen zu lassen (**Spektrum** April 2016, S. 46). Wer dieses »Ditschen« bei einem zugefrorenen See versucht, wird mit einem anderen Phänomen belohnt: Angeregt durch die Stöße erzeugt die Eisschicht gespenstisch anmutende Töne, die ihresgleichen suchen. Am ehesten noch ist das schrill zwitschernde Geräusch mit dem Sound von Laserwaffen in Sciencefiction-Filmen zu vergleichen.

Physikalisch haben wir es dabei mit einem Beispiel so genannter akustischer Dispersion zu tun. Normalerweise enthalten Schallwellen unterschiedliche Frequenzen, also hohe und tiefe Töne. In der Luft bewegen sich die entsprechenden Teilwellen mit derselben Geschwindigkeit fort und kommen zur selben Zeit in unseren Ohren an.

Das zwitschernde Eis gibt die akustische Kostprobe einer fremden Welt, in der das nicht so ist.

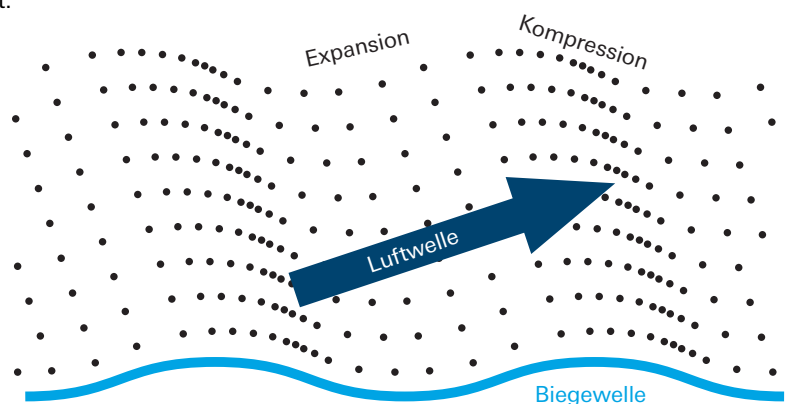
Denn in vielen anderen Fällen, etwa wenn der Schall durch feste Körper wie eben Eis geht, bewegen sich die

Die Eisschicht krümmt sich periodisch als Biegewelle, welche die darüberliegende Luft auseinanderzieht oder staucht. Nur wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeiten in beiden Medien zueinanderpassen, überlagern sich die Luftschwingungen zu einem wahrnehmbaren Ton, der sich zum Ufer fortpflanzt.

Teilwellen hoher Frequenzen schneller. Die höheren Töne eilen deshalb den tieferen davon, und der Schall wird über die Distanz in ganz unvertrauter Weise auseinandergezogen. Wer sich fernab vereister Gewässer einen ungefähren Eindruck von diesem Zwitschern verschaffen will, kann mit einem harten Gegenstand auf eine lange metallene Schraubenfeder (»Slinky«) oder ein gespanntes Drahtseil schlagen. Hier breitet sich der Schall vom getroffenen Punkt ausgehend ähnlich aus.

Um das akustische Phänomen auf dem Eis überhaupt wahrzunehmen, muss man weit genug von den Stellen entfernt sein, an denen der Stein landet. Nur so können sich die unterschiedlich schnell wandernden Teilwellen verschiedener Frequenzen ausreichend trennen. Beim Ditschen passiert das automatisch, wenn der geworfene Stein weiter wegspringt.

Für die gefrorene Fläche eines bestimmten Gewässers zu einer gewissen Zeit ist die dominierende Tonhöhe immer dieselbe und unabhängig davon, wie weit man den Stein wirft oder welche lokalen akustischen Beson-



SPKTRUM DER WISSENSCHAFT, NACH: H. JOACHIM SCHLICHTING



Schlittschuhläufer lassen die Eisfläche schwingen. Wenn diese dünn genug ist, überträgt sie einen zwitschernden Klang auf die Luft.

GIBSONPICTURES/GETTY IMAGES / ISTOCK

derheiten noch im Spiel sein mögen, beispielsweise durch Brüche. Aber wer sich mit dem Ditschen auf Eis über längere Zeit vertraut macht, wird bemerken, dass die Tonhöhe auf andere Weise von der Eisschicht abhängt: Eine dünne bringt einen hohen Klang hervor, dickere einen tieferen.

Diesen Zusammenhang kennen auch erfahrene Schlittschuhläufer. Wer auf weniger als zehn Zentimeter starken Eisschichten unterwegs ist, hört ebenfalls das Gezwitscher des Eises – allerdings stets nicht das selbst ausgelöste, sondern das von weiter entfernten Läufern. Die unverwechselbare Melodie gibt indirekt Auskunft über die Tragfähigkeit. Steigt die dominierende Frequenz über einen kritischen Wert, dann sollte das eher wie Alarmglocken in den Ohren klingen. Das ist in etwa dann der Fall, wenn die Dicke sechs Zentimeter unterschreitet und das Eis unverzüglich verlassen werden muss. Mit einem sehr feinen und trainierten Gehör kann man das im kritischen Bereich zentimetergenau erkennen, aber bereits für Gelegenheitsläufer ist es unter Umständen hilfreich, den Zusammenhang von Eisdicke und Tonhöhe zu kennen.

Bei Schlittschuhlaufen auf sehr dünnem Eis kann man teilweise sogar sehen, dass sich die Eisschicht auf und ab bewegt. Sie wird zu Biegeschwingungen angeregt, die letztlich die Klänge erzeugen. Das Eis ist näherungsweise eine Platte unendlicher Ausdehnung – bei großen Seen keine schlechte Approximation. Einerseits erleichtert das die mathematische Beschreibung. Allerdings liegt die Eisplatte auf einem Wasserkörper auf, der bei jeder Auslenkung mitbewegt werden muss. Das macht andererseits die Verhältnisse wieder komplizierter als bei einer schwingenden Platte, die auf beiden Seiten nur von Luft begrenzt ist.

Hinzu kommt: Für wahrzunehmende Töne müssen die periodischen Krümmungen der Eisplatte auf die Luft übertragen werden. Denn Schall ist physikalisch gesehen nichts anderes als Luft, die im akustischen Frequenzbereich schwingt. Es ist jedoch alles andere als selbstver-

ständig, dass das Eis die Vibration über die Luft bis zu unseren Ohren befördern kann. Denn lokale Luftströmungen gleichen viele von der Schwingung hervorgerufene Luftdruckschwankungen in unmittelbarer Nähe der Platte sofort wieder aus. Physiker sprechen vom akustischen Kurzschluss. Erst ab einer bestimmten Frequenz wird eine intensive Schallwelle abgestrahlt. Dazu muss die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Biegewelle der Eisplatte so groß sein wie die Schallgeschwindigkeit in der Luft. Das passiert bei der so genannten Koinzidenzfrequenz. Dann stößt die Oberfläche die einzelnen Luftteilchen im genau passenden Tempo an, so dass deren Dichteschwankungen sich überlagern und als Schallfront zum Ufer laufen (siehe Illustration links).

Für den akustischen Bereich liegen die Bedingungen im Allgemeinen bei einer weniger als zehn Zentimeter dicken Eisfläche vor. Zwar regen die Einwirkungen auf dem Eis viele Frequenzen an, aber nur diejenigen oberhalb der Koinzidenzfrequenz sind letztlich hörbar. Wer beim Schlittschuhlaufen genauer hinhört, stellt fest, dass die Melodie nicht kontinuierlich fort dauert. Sie wird stattdessen wie durch kleine Glockenschläge immer wieder neu angeregt, während sich die Läufer abstoßen.

Die außerirdisch wirkenden Töne kommen auch natürlicherweise zu Stande, etwa wenn die Eisschicht durch Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht an einigen Stellen reißt. Solche Ursachen lassen sich oft nicht gleich erkennen, und das macht die Situation umso gespenstischer.

QUELLE

Lundmark, G.: Skating on thin ice – and the acoustics of infinite plates. The 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering. Den Haag, 2001

WEBLINK

https://youtu.be/OC7_zpyqCrU?t=33

Das Video führt das Geräusch und dessen Entstehung vor.