

# Über die Struktur und die Bewegung der Gletscher

Eis ist spröde und bricht unter Belastung. Warum also fliesst ein Gletscher ähnlich wie ein weicher Teig oder eine andere zähe Masse? Diesen Widerspruch wollten John Tyndall und Thomas H. Huxley vor rund 160 Jahren auflösen und besuchten deshalb den Grindelwald-, den Aar- und den Rhonegletscher.

Noch heute bezeichnet man die Streuung von Licht an mikroskopischen Schwebeteilchen als Tyndall-Effekt und verwendet diesen beispielsweise in Rauchmeldern. Huxley bekam den Beinamen «Darwin's bulldog», weil er ein glühender Befürworter und einflussreicher Unterstützer der Evolutionstheorie war. Die im Sommer 1856 gesammelten Beobachtungen wurden vor allem von Tyndall durch Experimente ergänzt und in einer der Royal Society in London im Januar 1857 vorgelegten Abhandlung zusammengefasst. Der Bericht war derart interessant, dass kein Geringerer als Rudolf Clausius, der Vater des grundlegenden Entropiebegriffs in der Thermodynamik, eine Übersetzung für die Vierteljahrsschrift der NGZH verfasste (VJS 3/1, 1858: 36-61).

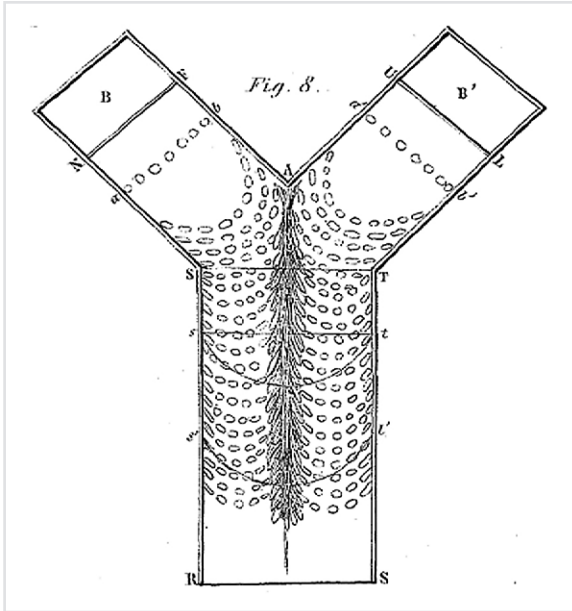
Experimente zum Fliessverhalten von Eis  
Tyndall löste den Widerspruch zwischen sprödem und zähem Verhalten der Gletscher mit einer Serie von Laborexperimenten auf. Zuerst beobachtete er, dass zwei Eiswürfel zusammenwachsen, sobald ihre Oberflächen an der Kontaktstelle benetzt werden. Dasselbe passiert bei Schneeballschlachten, wenn man bei relativ warmer Witterung Schnee von Hand zusammendrückt. Presst man die nass werdenden Bälle kräftig, entstehen besonders harte Eisbälle: Die Schneekristalle wachsen zu Eiskristallen zusammen. Sehr überzeugend sind die Experimente, bei denen Tyndall Eiskugeln mit grossem Druck in verschiedene Formen presst. Er stellte dabei erstaunt fest: «Das Eis brach, wie erwartet, aber bald vereinigte es sich wieder, und nachdem der Druck noch wenige Sekunden fortgesetzt war, hatte sich die Kugel in eine durchsichtige Linse von der Gestalt und

Grösse der angewandten Form verwandelt.» Tyndall erklärte diese Umformung als Folge von sehr vielen Brüchen und erneutem Zusammenwachsen der Bruchstücke auf Grund folgender Beobachtung: «Bei der allmäligen Wirkung des Druckes hörte man einen Krach nach dem andern, die zuletzt so schnell auf einander folgten, dass sie ein knisterndes Geräusch gaben, und sich in manchen Fällen fast zu einem musikalischen Tone vereinigten.»

Damit wird auch klar, wie sich ein Gletscher allen Unebenheiten seines Bettes anpassen kann, wie zwei Gletscher zusammenfliessen können und wie Spalten wieder zusammenwachsen. Es würde sicher Spass machen, ein Tyndallsches Umformungs-Experiment zu wiederholen und den durch ihn erwähnten Krach via Mikrofon und Verstärker über Lautsprecher hörbar zu machen. Die Audio-Sequenz könnte auf einem Computer gespeichert werden, so dass die einzelnen Brüche nach abnehmender Lautstärke geordnet und statistisch analysiert werden könnten.

Experimente zur Struktur der Gletscher  
In einer Vorlesung in der Royal Institution sprach Tyndall die Vermutung aus, dass die Spaltbarkeit des Schiefers durch einen grossen Druck verursacht wurde, der senkrecht zu den Spaltflächen gewirkt haben muss. Bereits 1855 zeigte er, dass Wachs sich unter Druck genauso verhält. Huxley machte ihn anschliessend auf eine analoge Struktur aufmerksam, die an Gletschern bereits früher beobachtet wurde. Auf ihrer Exkursion dokumentierten die beiden befreundeten Wissenschaftler entsprechende Beobachtungen beim Zusammenfluss des Lauteraar- mit dem Finsteraar- zum Unteraargletscher.

Um die Entstehung der einige Zentimeter bis Dezimeter breiten Bänder zu verstehen und seine Druck-Hypothese zu bestätigen, simulierte Tyndall die Bewegung der Gletscher mit Hilfe eines zähflüssigen Pfeifenton-Wasser-Gemisches. Auf die Oberfläche des langsam fliessenden Stromes druckte er farbige Kreise auf und



Links: Skizze zum Experiment von Tyndall, mit einem zähen Pfeifenton-Wasser-Gemisch die Bewegungen von Gletschern zu simulieren. Die auf dem Gemisch aufgedruckten Kreise werden zu Ellipsen verformt, deren Hauptachsen senkrecht zur Druckkraft stehen. Bei der Vereinigungslinie der beiden Stromzweige sind die Hauptachsen der beiden Ströme parallel ausgerichtet – genau wie Tyndall und Huxley dies bei wirklichen Gletschern im Bereich der Mittelmoräne beobachtet haben. Rechts: Zusammenfluss von Lauteraar- (hinten) und Finsteraar- zum Unteraargletscher. Deutlich ersichtlich sind die höher gelegenen Überbleibsel der Seitenmoränen der Gletscher aus dem 19. Jahrhundert.

beobachtete, wie diese allmählich ihre Gestalt änderten. Die grossen Achsen der entstehenden Ovale liegen senkrecht zur Druckkraft und sollten übereinstimmen mit der Richtung der bei den Gletschern beobachteten Bänder. Erfreut stellte Tyndall fest: «Dem entspricht es ganz, dass auf dem wirklichen Gletscher unter und neben der Mittelmoräne, welche die Vereinigungslinie der beiden Gletscherzweige kenntlich macht, die Bandstruktur am deutlichsten ausgeprägt ist, und die Bänder der Moräne parallel sind.»

#### Gletscherlawine an der Altels

40 Jahre später erschien das Neujahrsblatt auf das Jahr 1896, das sich mit dem tragischen Ereignis vom 11. September 1895 befasste, bei dem 6 Menschen und 169 Tiere auf der Spitalmatte bei Kandersteg den Tod fanden. Die steil abfallende Zunge des Altelsgletschers wurde lediglich durch Zugkräfte an höher gelegenem Eis auf flacherem Grund festgehalten. Nach einer langen Periode mit heissem und trockenem Wetter riss das untere, etwa 650 Meter lange Stück der Gletscherzunge in den frühen

Morgenstunden ab. Es donnerten unter lautem Getöse schätzungsweise 4,5 Millionen Kubikmeter Eis zu Tal und die dadurch verursachten Windstöße fällten riesige Waldstücke. In rund einer Minute bewegte sich die Masse über eine Länge von 3300 Metern zum 1400 Meter tiefer gelegenen Talboden und erreichte dort wohl eine Geschwindigkeit von über 400 km/h. Die in Wärme, Zerstörung, Wind und Schall umgesetzte Energie betrug etwa 60 Terajoule; dies entspricht rund 6 Prozent der gesamten Energie, welche die Menschheit heute in einer Minute umwandelt. Verständlich, dass man im nahegelegenen Kandersteg bei diesem Ereignis zuerst an ein Erdbeben dachte!

Fritz Gassmann