

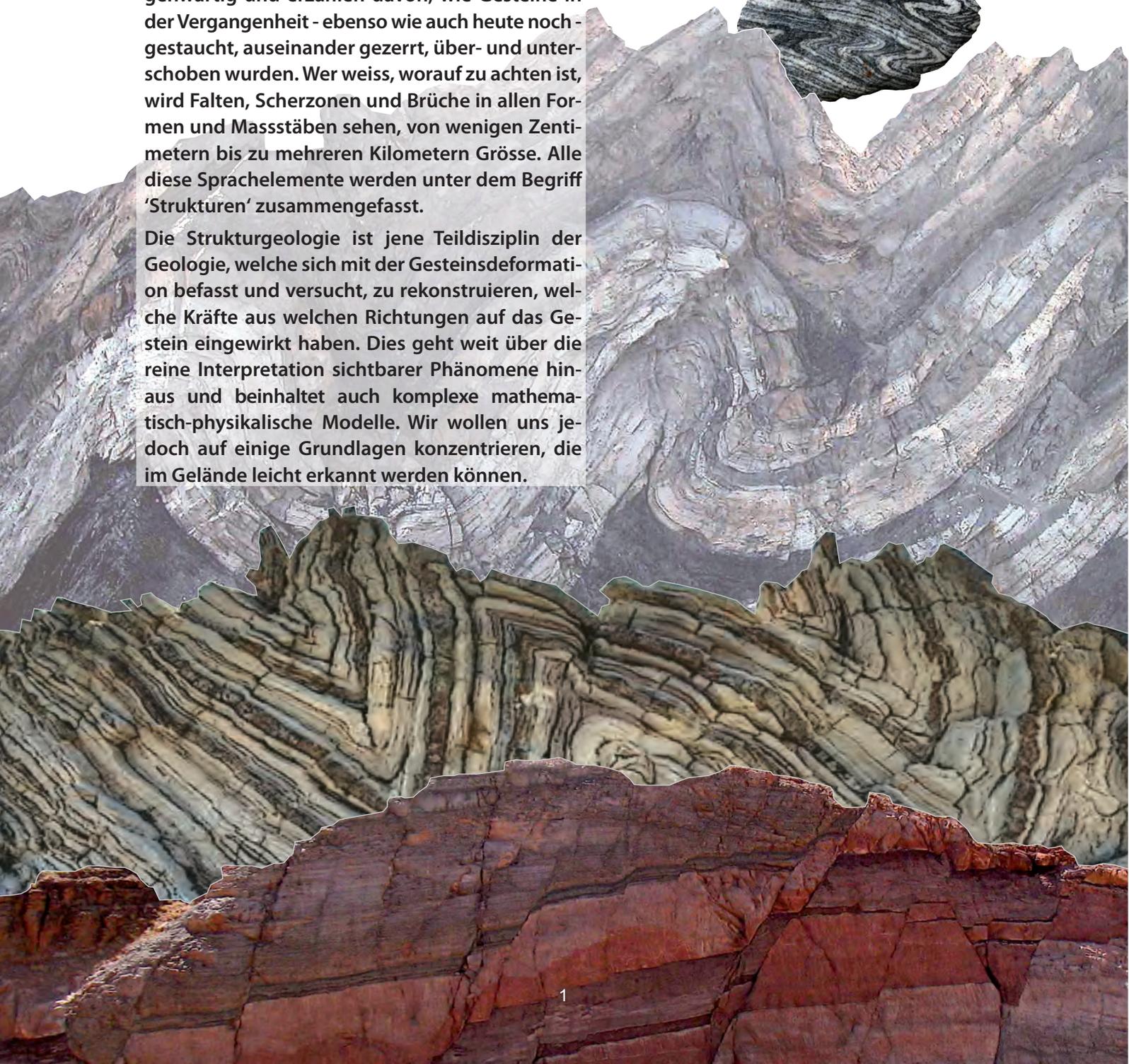
Grundlagen der Sprache der Gesteine

7 Deformation der Gesteine

Bisher haben wir uns vor allem mit den Bestandteilen der Gesteine, deren Grösse, Form und Anordnung befasst. Bei den metamorphen Gesteinen haben wir jedoch bereits festgestellt, dass es noch eine weitere Kategorie von Sprachelementen geben muss, nämlich jene, die uns erzählen, wie Gesteine deformiert werden.

Hinweise darauf sind auf der Erdoberfläche allgegenwärtig und erzählen davon, wie Gesteine in der Vergangenheit - ebenso wie auch heute noch - gestaucht, auseinander gezerrt, über- und unter-schoben wurden. Wer weiss, worauf zu achten ist, wird Falten, Scherzonen und Brüche in allen Formen und Massstäben sehen, von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Kilometern Grösse. Alle diese Sprachelemente werden unter dem Begriff 'Strukturen' zusammengefasst.

Die Strukturgeologie ist jene Teildisziplin der Geologie, welche sich mit der Gesteinsdeformation befasst und versucht, zu rekonstruieren, welche Kräfte aus welchen Richtungen auf das Gestein eingewirkt haben. Dies geht weit über die reine Interpretation sichtbarer Phänomene hinaus und beinhaltet auch komplexe mathematisch-physikalische Modelle. Wir wollen uns jedoch auf einige Grundlagen konzentrieren, die im Gelände leicht erkannt werden können.



7.1 Falten im Gestein

Die weitaus auffälligsten Strukturen sind Falten. Es ist nicht schwierig, sich vorzustellen, dass Falten das Resultat einer Verkürzung sind, vergleichbar mit einem Blatt Papier, das zwischen zwei Handflächen zusammen geschoben wird (Abb. 1). In allen Gesteinen können Falten auftreten, Voraussetzung ist jedoch, dass es im Gestein eine Inhomogenität gibt, die gefaltet werden kann (Abb. 2). Dies kann eine sedimentäre Schichtung sein, eine Bänderung oder Schieferung in einem metamorphen Gestein oder auch ein Ganggestein (Abb. 3). Ein völlig homogenes Gestein hingegen kann nicht gefaltet werden.

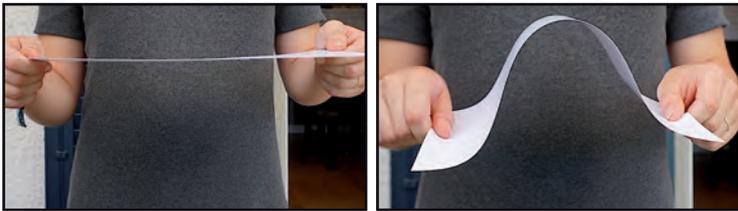


Abb. 1: Wird die Distanz zwischen den Händen verkürzt, faltet sich das Blatt Papier.

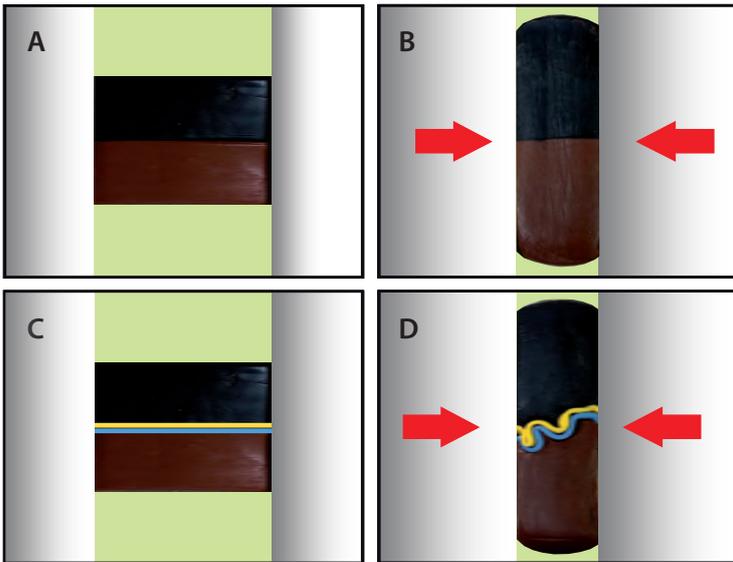


Abb. 2: Zwei homogene Klötze aus Knetmasse (schwarz und braun) werden zwischen zwei Stahlblöcken zusammengedrückt (A). Dabei wird die Knetmasse deformiert, es bildet sich jedoch keine Falte (B). Befindet sich innerhalb der Knetmasse eine Schicht aus Gummi (blau, gelb, C), so legt sich diese in Falten (D), denn sie bildet eine Inhomogenität gegenüber der Knetmasse.

Falten können offen, halboffen oder geschlossen sein, je nach Intensität der Verkürzung (Abb. 4). Sie können symmetrisch oder asymmetrisch, aufrecht, gekippt oder liegend sein und sie können unterschiedliche Ausprägung haben. Während bei den einen Falten die Dicke beispielsweise einer verfalteten sedimentären Schichtung immer gleich bleibt, sind andere im Faltschenkel ausgedünnt und dafür im Faltscharnier verdickt (Abb. 5). Experi-

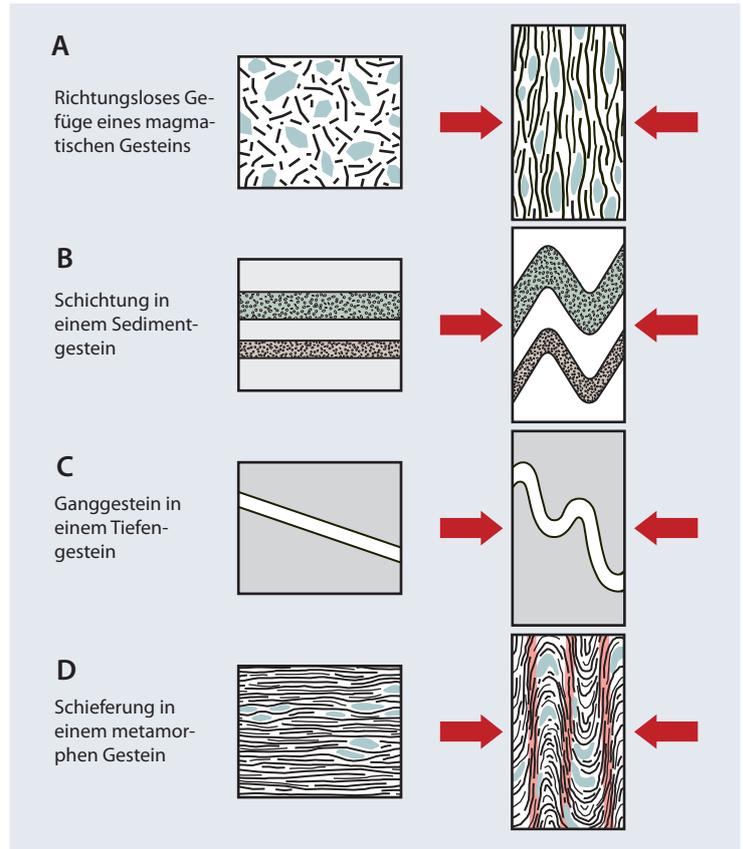


Abb. 3A: Wird ein Gestein mit richtungslosem Gefüge wie zum Beispiel ein magmatisches Gestein komprimiert, entsteht eine Schieferung, wobei sich die tafeligen, blättrigen oder stengeligen Minerale senkrecht zur Kompressionsrichtung einordnen (siehe auch Abb. 7 in Kap. 6).

Abb. 3 B, C: Bei der Kompression von Inhomogenitäten wie sedimentären Schichtungen oder Ganggesteinen bilden sich hingegen Falten.

Abb. 3 D: Wird eine bestehende Schieferung komprimiert, bilden sich ebenfalls Falten, bei starker Kompression entsteht sogar eine Schieferung der 2. Generation (rosa Bereiche).

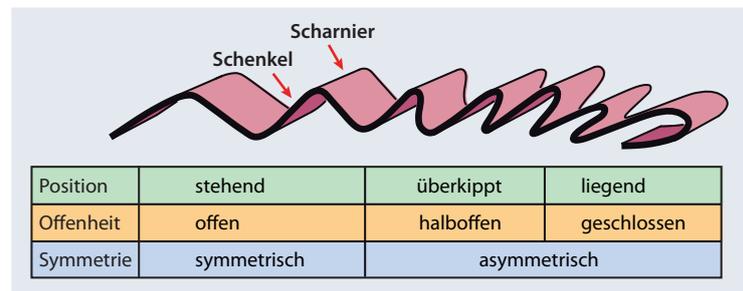


Abb. 4: Faltengeometrien.

mente zeigen, dass dies von Druck und Temperatur abhängt. Gleichbleibende Dicke deutet auf ein „steifes“ Falten bei geringem Druck und geringer Temperatur, also nahe der Erdoberfläche hin. Das Ausdünnen der Faltschenkel hingegen ist nur möglich, wenn sich das Gestein bei erhöhten P-T Bedingungen plastisch verhält. Die Verfaltung von Sedimentgesteinen geschieht meist unter tiefen P-T Bedingungen und führt zu „steifen“ Falten, wäh-

„Steife“ Faltung bei tiefem Druck und Temperatur



Plastische Faltung bei erhöhtem Druck und Temperatur



Abb. 5: „Steife“ und plastische Faltung. Mitte: Kleinmasstäblich (Dezimeter bis Meter); rechts: grossmasstäblich (mehrere 100 Meter) Oben: Torngat Mauntains, Kanada; unten: Dent de Morcles, Schweiz.

rend magmatische und metamorphe Gesteine in grösseren Tiefen in der Erdkruste unter erhöhten P-T Bedingungen gefaltet werden.

Wird ein Gesteinspaket zusammengedrückt, entstehen in der Regel zuerst aufrechte Falten, die dann überkippen und schliesslich zu liegen kommen (Abb. 6). Dabei werden die unteren Faltschenkel ausgedünnt. Zerreißen die Gesteinsschichten im unteren Faltschenkel, spricht man von Schleppfalten. Schleppfalten, die viele Kilometer weit überschoben sind, werden Decken genannt. Die Alpen sind teils aus solchen übereinandergeschobenen Decken

aufgebaut. Diesem Phänomen werden wir in **Modul xy** auf den Grund gehen. Falten sind selten zylindrisch, sie können auftauchen und wieder verschwinden, vergleichbar mit Falten in einem Tuch, das auf einem Tisch zusammen geschoben wird (Abb. 6).

7.2 Brüche und Scherzonen

Im Gelände können Linien beobachtet werden, entlang welcher das Gestein abgeschert und über eine gewisse Distanz verschoben ist. Solche Linien können einen Versatz von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Kilome-

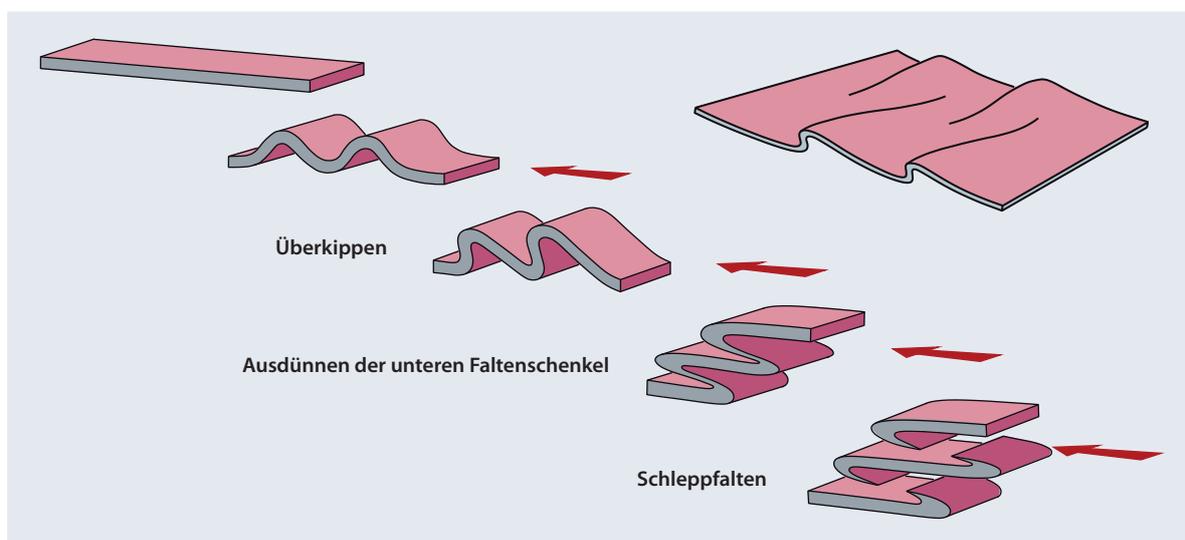


Abb. 6: Entstehung von Schleppfalten, die im grossen Massstab zu Decken werden und ganze Gebirge aufbauen können. Oben rechts: nicht zylindrische Falten, wie sie in der Natur meist aufdtreten.

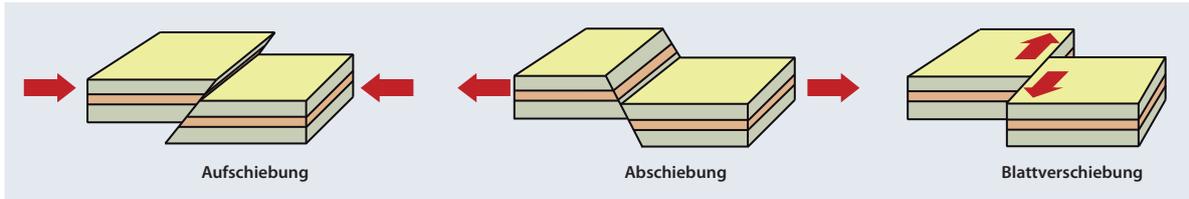


Abb. 7: Aufschiebungen sind das Resultat von Kompression, Abschiebungen hingegen entstehen, wenn Gestein auseinander gezogen wird (Dilatation). Bei Blattverschiebungen wirken horizontale Scherkräfte.

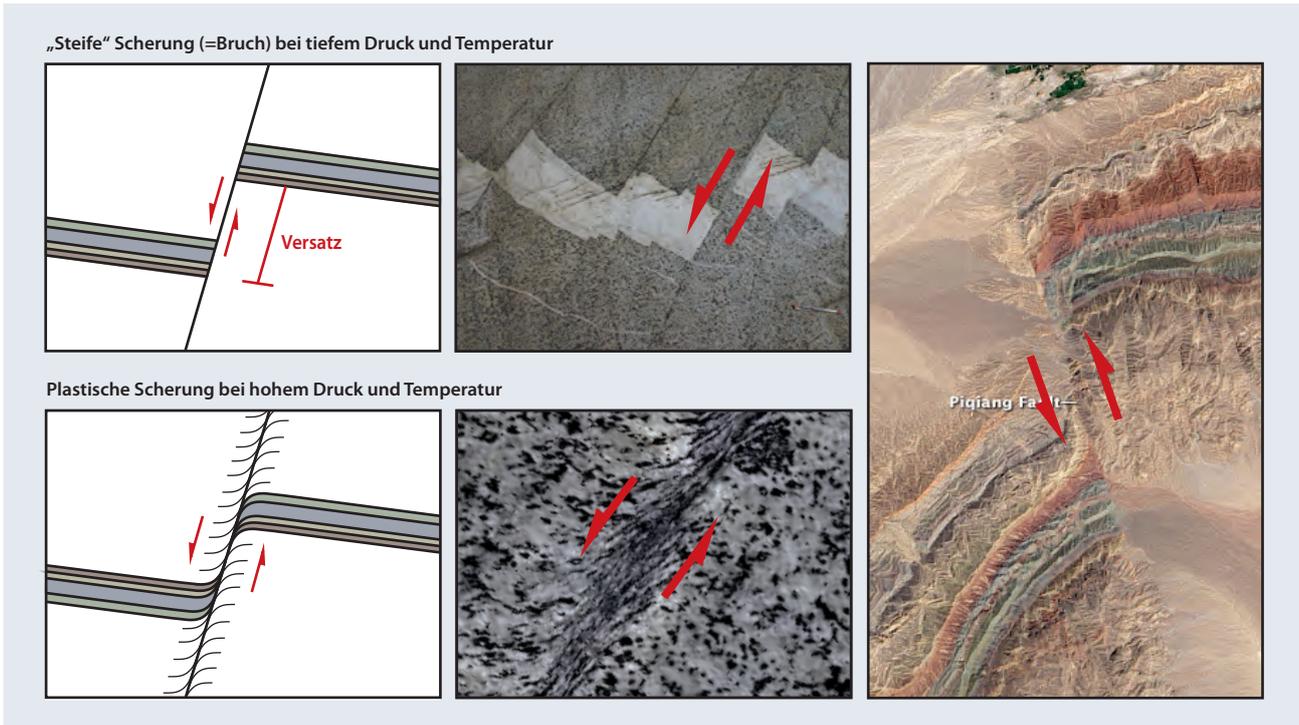


Abb. 8: „Steife“ und plastische Scherung. Mitte: Kleinmassstäblich (Zentimeter bis Dezimeter); rechts: grossmassstäblich (mehrere Kilometer, Tien Shan Gebirge, China)

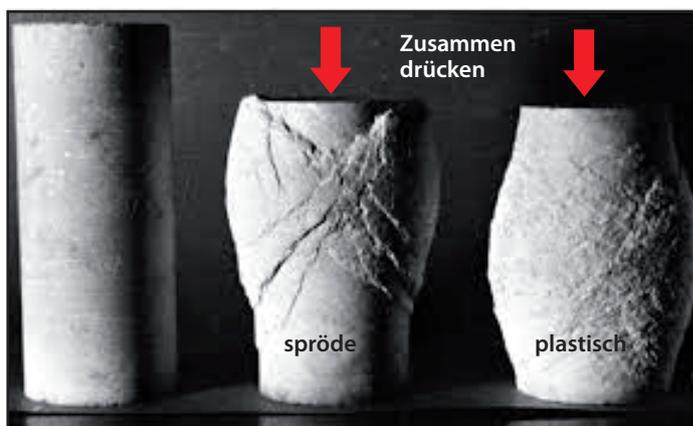


Abb. 9: Deformation eines Marmorzylinders (ca. 3 x 1 cm). Bei schneller Deformation bzw. bei Deformation unter tiefen P-T Bedingungen brach der Zylinder spröde (Mitte), bei langsamer Deformation bzw. bei Deformation unter erhöhten P-T Bedingungen verhielt er sich plastisch (rechts).

tern haben. Es gibt also offenbar Situationen, in welchen das Gestein die einwirkenden Kräfte nicht homogen über sein ganzes Volumen verteilen kann, sondern vorzugsweise entlang von Flächen konzentriert. Dabei entstehen Auf- und Abschiebungen sowie Blattverschiebungen. (Abb. 7). Verhielt sich das Gestein dabei spröde, spricht man von Brüchen, verhielt es sich hingegen plastisch, sind es Scher-

zonen (Abb. 8). Mit Laborexperimenten lässt sich untersuchen, wie sich Gesteine beim Zusammenpressen verhalten. Im vorliegenden Fall (Abb. 9) wurde ein Marmorzylinder um 20% zusammengedrückt. Bei schneller Deformation zerbrach der Zylinder spröde, bei langsamer Deformation trat eine plastische Verformung ohne Brüche auf. Auch Druck und Temperatur haben einen Einfluss. Unter

niedrigen Drucken und Temperaturen, wie sie in oberflächennahen Bereichen der Erdkruste herrschen, ist die Deformation spröde. Unter hohen Drucken und Temperaturen, wie sie in tiefen Bereichen der Erdkruste herrschen, dagegen plastisch.

7.3 Venen und Klüfte

Manchmal reißt das Gestein auf und es bilden sich Spalten. Diese füllen sich häufig mit mineralhaltigen Wässern, aus welchen Minerale auskristallisieren. Bleiben dabei Hohlräume übrig, in welchen die Kristalle frei wachsen können, spricht man von Klüften. Werden die Spalten vollständig von Mineralen ausgefüllt, werden sie Venen genannt, denn sie gleichen manchmal den Adern unter der Haut. Enthalten die mineralhaltigen Wässer auch Metalle und bilden sich grosse Mengen metallhaltiger Minerale, können auf diese Weise Erzlagerstätten entstehen. Auch Venen und Klüfte verraten uns viel über die Kräfteverhältnisse während der Gesteinsdeformation (Abb. 10).

7.4 Druck und Kompression

Wir haben in den vorhergehenden Kapiteln von **Kompression** gesprochen, die unter niedrigen oder hohen Drucken stattfindet. Das ist vermutlich etwas verwirrend. Worin liegt nun der Unterschied zum **Druck**? Mit Druck ist in der Geologie immer der lithostatische Druck gemeint, also jener Druck, der einzig durch die Auflast des Gesteins zustande kommt und z. B. Mineralreaktionen auslöst (Kap. 5). Dieser ist vergleichbar mit dem hydrostatischen Druck, den ein Taucher unter Wasser auf seinem ganzen Körper spürt und der sich aus dem Gewicht der Wassersäule über ihm ergibt. Wird der Taucher nun von einem Hai ins Bein gebissen, verspürt er zusätzlich eine Kompression und sein Bein wird deformiert. Dies entspricht in diesem Vergleich der Kompression, die Gesteine verformen kann. Physikalisch gesehen ist auch dies eine Kraft pro Flächeneinheit, es handelt sich also ebenfalls um Druck. Die englische Sprache löst das Problem elegant: Der lithostatische Druck wird als „pressure“ bezeichnet, die Kompression als „stress“.

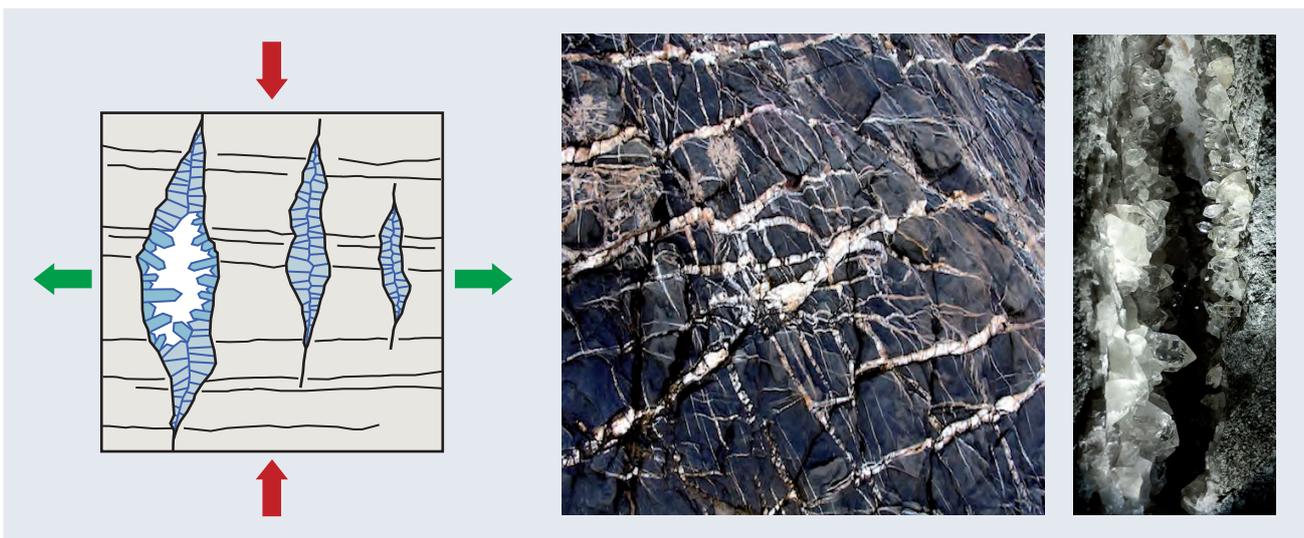


Abb. 10 links: Venen und Klüfte stehen immer parallel zur Kompressionsrichtung (rote Pfeile) und senkrecht zur Ausdehnungsrichtung (grüne Pfeile) des Gesteins. Sie zeigen damit direkt an, aus welchen Richtungen Kräfte auf das Gestein einwirken.

Abb. 10 Mitte: Venen bilden oft komplexe Muster.

Abb. 10 rechts: Kluft mit Quarzkristallen.