

# 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 hatten wir jedoch bereits festgestellt, dass es noch eine weitere Kategorie von Sprachelementen geben muss, nämlich jene, die davon berichten, wie Gesteine deformiert werden.

Hinweise darauf sind auf der Erdoberfläche allgegenwärtig und erzählen davon, wie Gesteine in der Vergangenheit – ebenso wie auch heute noch – über- und unterschoben, auseinander gezerrt und gestaucht wurden und immer noch werden.

Wer weiss, worauf zu achten ist, wird Falten, Scherzonen und Brüche in allen Formen und Massstäben erkennen, von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Kilometern Grösse. Alle diese Sprachelemente werden unter dem Begriff 'Strukturen' zusammengefasst.

Die Strukturgeologie ist jene Teildisziplin der Geologie, die sich mit der Gesteinsdeformation befasst und die 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 in Gesteinsproben oder im Gelände leicht zu erkennen sind.

### 7.1 Falten im Gestein

Die weitaus auffälligsten Strukturen sind Falten. Falten sind das Resultat einer Verkürzung, vergleichbar mit einem Blatt Papier, das an beiden Enden gehalten und zusammen geschoben wird, und das sich dabei verbiegen muss (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 Schichtung in Sedimentgesteinen sein, eine Bänderung oder Schieferung in metamorphen Gesteinen 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.

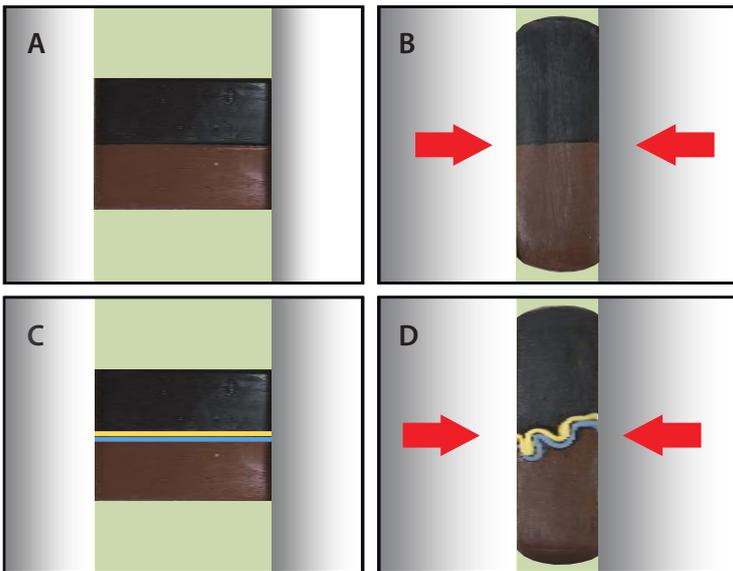


Abb. 2: Zwei homogene Klötze aus Knetmasse (schwarz und braun) werden zwischen zwei Stahlblöcken zusammengedrückt (A). Dabei wird die Knetmasse deformiert, es bildet sich jedoch keine Falte (B). Befindet sich hingegen innerhalb der Knetmasse eine Schicht aus Gummi (blau, gelb, C), so legt sich diese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

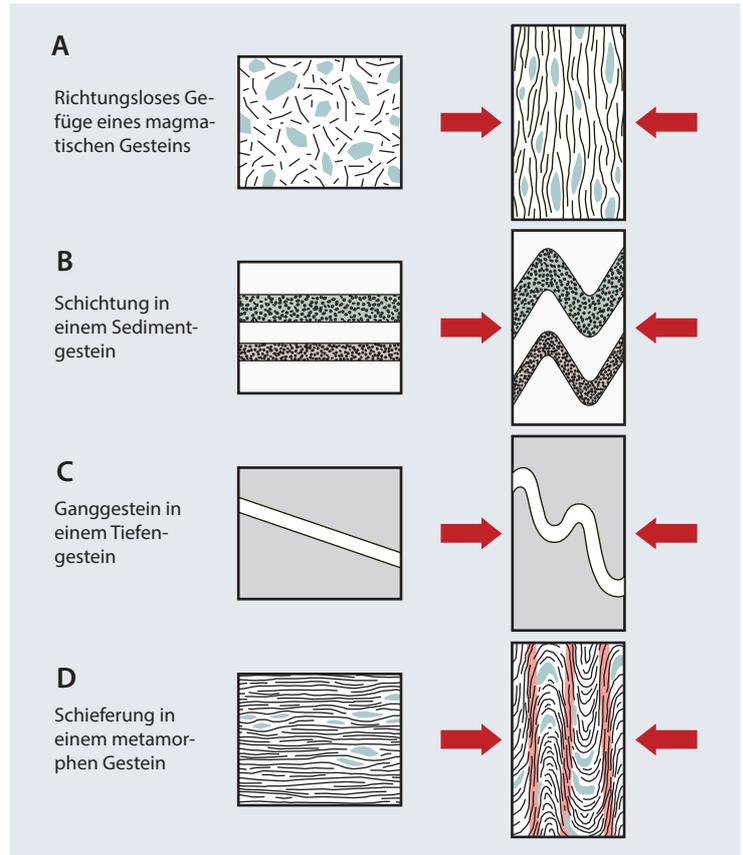


Abb. 3 A: Wird ein Gestein mit richtungslosem Gefüge wie zum Beispiel ein magmatisches Gestein komprimiert, entsteht eine Schieferung, wobei sich die tafeligen, blättrigen oder stengeligen Minerale senkrecht zur Kompressionsrichtung einordnen (siehe auch Abb. 7 in Kap. 6).

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 zweiten Generation (rosa Bereiche).



Position	stehend	überkippt	liegend
Offenheit	offen	halboffen	geschlossen
Symmetrie	symmetrisch		asymmetrisch

Abb. 4: Faltengeometrien.

mente zeigen, dass dies von den Druck und Temperaturbedingungen (P-T Bedingungen) der Umgebung 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

„Steife“ Faltung: Kompression bei tiefen Druck- und Temperaturbedingungen



Plastische Faltung: Kompression bei erhöhten Druck- und Temperaturbedingungen



Abb. 5: „Steife“ und plastische Faltung. Mitte: Kleinmasstäblich (Dezimeter bis Meter); rechts: grossmasstäblich (mehrere hundert Meter bis Kilometer).

Bedingungen und führt zu „steifen“ Falten, während magmatische und metamorphe Gesteine in grösseren Tiefen in der Erdkruste unter erhöhten P-T Bedingungen gefaltet werden.

Wird ein Gesteinspaket zusammengedrückt (komprimiert), entstehen in der Regel zuerst aufrechte Falten, die dann überkippen und schliesslich zu liegen kommen (Abb. 6A). Dabei werden die unteren Faltschenkel ausgedünnt. Zerreißen die Gesteinsschichten im unteren Faltschenkel, spricht man von Schleppepfalten. Aus Schleppepfalten, die viele Kilometer weit überschoben werden, können sich so-

genante Decken entwickeln. Die Alpen sind aus übereinander geschobenen Decken aufgebaut, die teils auf diese Weise entstanden sind (vgl. Modul 5). Falten sind selten zylindrisch, sie können auftauchen und wieder verschwinden, vergleichbar mit Falten in einem Tuch, das auf einem Tisch zusammen geschoben wird (Abb. 6B).

### 7.2 Brüche und Scherzonen

Im Gelände können Linien beobachtet werden, entlang welcher das Gestein abgesichert und über eine gewisse Distanz verschoben ist. Solche Linien können einen Ver-

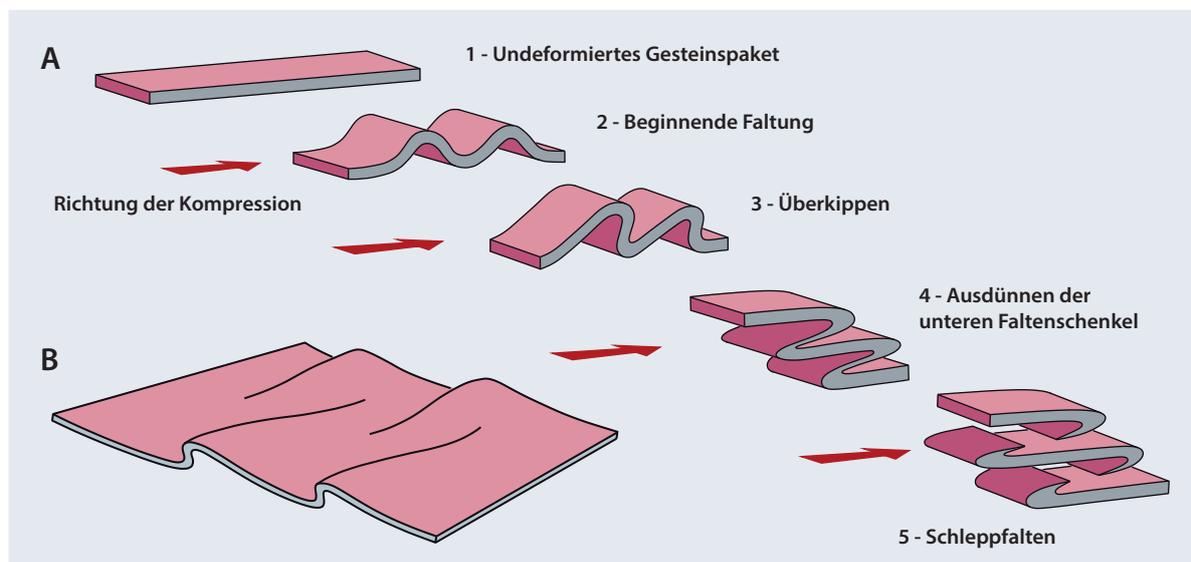
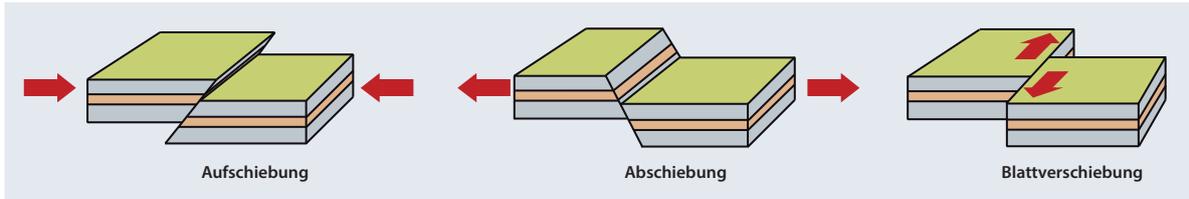


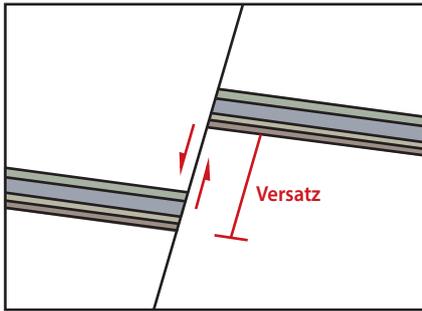
Abb. 6A: Entstehung von Schleppepfalten, die im grossen Masstab zu Decken werden und ganze Gebirge aufbauen können.

Abb. 6B: Nicht zylindrische Falten, wie sie in der Natur meist aufdtreten.

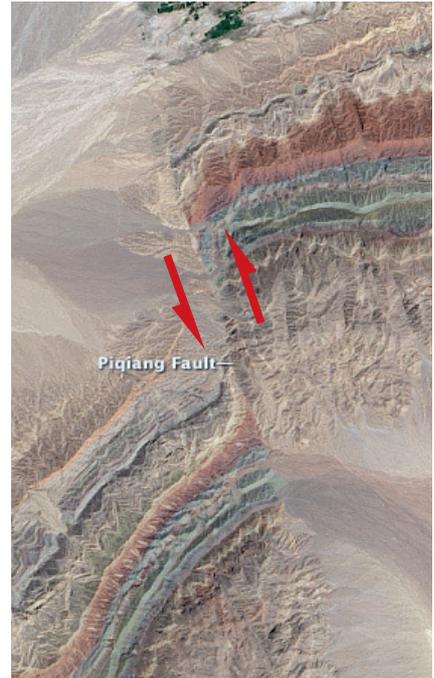
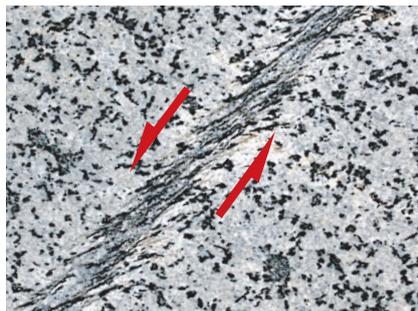
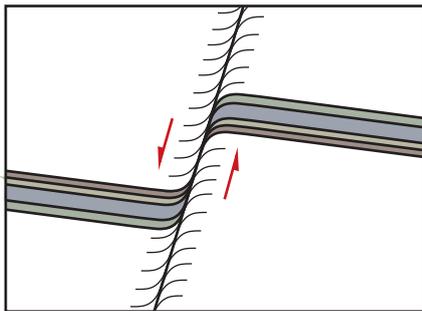


**Abb. 7:** Aufschiebungen sind das Resultat von Kompression, Abschiebungen hingegen entstehen, wenn Gestein auseinander gezogen wird (Dilatation). Bei Blattverschiebungen wirken horizontale Scherkräfte.

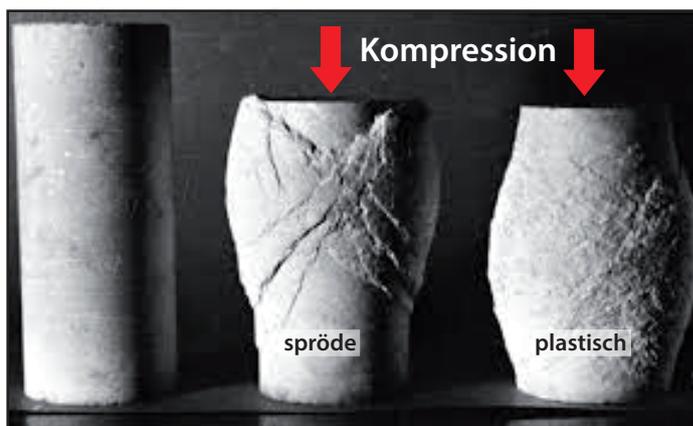
„Steife“ Scherung (=Bruch) bei tiefen Druck- und Temperaturbedingungen



Plastische Scherung bei erhöhten Druck- und Temperaturbedingungen



**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) durch Kompression. Bei Deformation unter Druck- und Temperaturbedingungen, wie sie in Oberflächennähe herrschen, brach der Zylinder spröde (Mitte). Bei Druck- und Temperaturbedingungen, wie sie in grösserer Tiefe der Erdkruste herrschen, verhielt er sich plastisch (rechts).

satz von wenigen Zentimetern bis zu mehreren Kilometern 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 Scherzonen (Abb. 8).

Mit Laborexperimenten lässt sich untersuchen, wie sich Gesteine beim Zusammenpressen verhalten (Abb. 9). Im vorliegenden Fall wurde ein kleiner Marmorzylinder um 20% zusammengepresst. Unter tiefen Druck- und Temperaturbedingungen, wie sie in oberflächennahen Bereichen

der Erdkruste herrschen, bildeten sich spröde Brüche. Unter hohen Drucken und Temperaturen hingegen, wie sie in tiefen Bereichen der Erdkruste herrschen, reagierte der Marmorzylinder auf die Kompression mit plastischer Deformation.

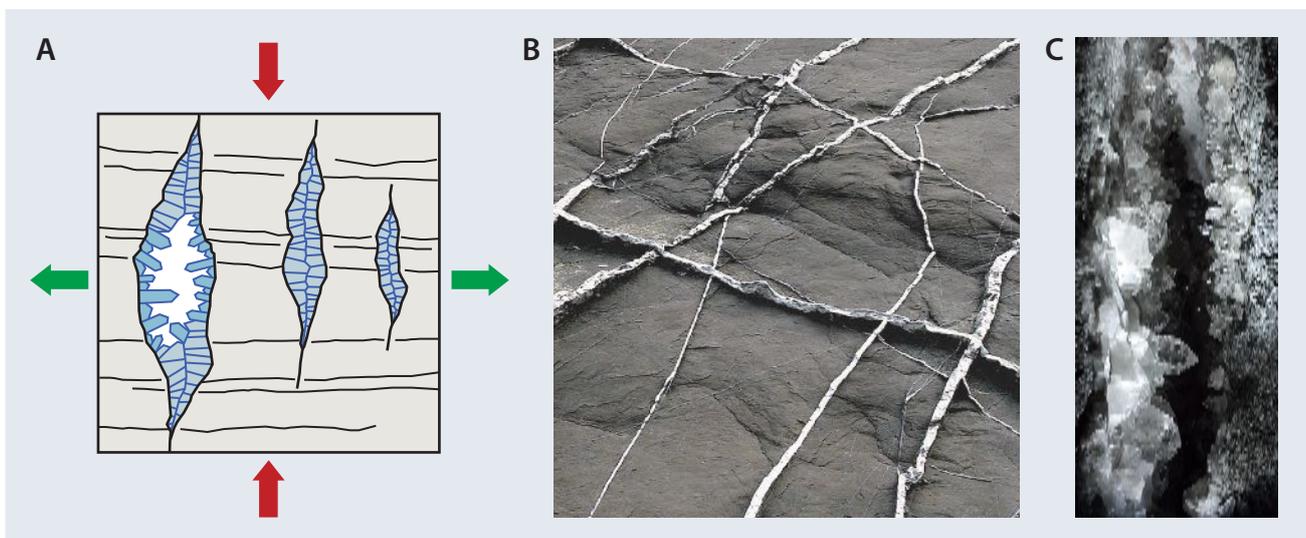
### 7.3 Venen und Klüfte

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 hingegen 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 oder 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, wird dieses deformiert. Dies entspricht in diesem Vergleich der Kompression, also einer mechanischen Spannung, die Gesteine verformen kann. Physikalisch gesehen wird auch dies als Kraft pro Flächeneinheit ausgedrückt, es handelt sich also ebenfalls um Druck. Die englische Sprache löst das Problem in der Geologie elegant: Der lithostatische Druck wird als „pressure“ bezeichnet, die Kompression als „stress“.



**Abb. 10 A:** 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 B:** Venen bilden oft komplexe Muster.

**Abb. 10 C:** Klüft mit Quarzkristallen.