

## IN DIESEM KAPITEL

Geowissenschaften für sich entdecken

Umwandlung von Gesteinen im Gesteinskreislauf

Die Theorie der Plattentektonik kennenlernen

Oberflächenprozesse verstehen

Eintauchen in die Geschichte der Erde

Die Verteilung der Gesteine verstehen

## Kapitel 1

# Steine – nicht nur was für Sammler

**G**eologie und andere Geowissenschaften haben den Ruf, leichte Fächer an Schule und Universität zu sein oder zumindest die am wenigsten schweren aller Wissenschaften. Möglicherweise liegt das daran, dass man die Objekte, die man in der Geologie betrachtet und studiert – Steine –, in der Hand halten und ohne Hilfsmittel wie Mikroskop oder Teleskop sehen kann.

*Geologie* ist die Wissenschaft, die sich mit unserem Planeten befasst – damit, woraus er besteht und wie er zu dem wurde, was er heute ist. Geologie zu studieren bedeutet, auch alle anderen Wissenschaften, zumindest ein kleines bisschen, zu studieren. Chemie, Physik, Biologie und Astronomie (um nur einige zu nennen) sind die Grundlagen, die man braucht, um das geologische System der Erde zu verstehen – sowohl die Prozesse, die in diesem System ablaufen, als auch die Ergebnisse, zu denen sie führen.

Nicht nur Menschen, die komplizierten physikalischen Berechnungen oder langwierigen Experimenten in einem Chemielabor aus dem Weg gehen wollen, entdecken die Geologie für sich. Geologie ist eine Wissenschaft für alle. Es ist die Wissenschaft über den Planeten, auf dem wir leben – die Welt, in der wir leben –, und dies ist Grund genug, mehr über sie in Erfahrung bringen zu wollen.

## Entdecken Sie den Forscher in sich

Sie sind bereits ein Forscher. Vielleicht haben Sie dies noch gar nicht bemerkt, aber indem Sie sich umschaun und Fragen stellen, verhalten Sie sich wie einer. Okay, Forscher bezeichnen ihr Vorgehen, Fragen zu stellen und Antworten auf diese zu finden, als *wissenschaftliche Methode*, aber was Sie jeden Tag tun, ist genau das Gleiche. Es wird nur nicht so schick benannt. In Kapitel 2 stelle ich Ihnen die wissenschaftliche Methode im Detail vor. An dieser Stelle gebe ich Ihnen zunächst einen kurzen Überblick, was sie beinhaltet.

### Wir machen Beobachtungen – Tag für Tag

Beobachtungen sind lediglich Informationen, die wir mit unseren fünf Sinnen aufnehmen. Wir können nicht durch die Welt gehen, ohne Informationen zu sammeln und Entscheidungen zu treffen, die sich auf diese Informationen stützen.

Nehmen wir ein einfaches Beispiel: Sie stehen an einer Kreuzung, schauen nach beiden Seiten, um festzustellen, ob ein Auto kommt und ob das herannahende Auto langsam genug fährt, damit Sie die Straße sicher überqueren können, bevor es da ist. Sie haben eine Beobachtung gemacht, Informationen gesammelt und eine Entscheidung getroffen, die auf diesen Informationen beruht – genau wie ein Forscher!

### Wir ziehen Schlüsse

Andauernd benutzen wir unsere gesammelten Beobachtungen, um Schlussfolgerungen aus ihnen zu ziehen. Je mehr Informationen wir sammeln (je mehr Beobachtungen wir also machen), umso stichhaltiger wird unsere Folgerung sein. Der gleiche Prozess läuft auch bei einer wissenschaftlichen Untersuchung ab. Forscher sammeln durch Beobachtungen Informationen, entwickeln eine wohlbegründete Vermutung (eine sogenannte *Hypothese*) dazu, wie die Sache funktionieren könnte, und versuchen dann über eine Reihe von Experimenten, ihre Vermutung zu belegen.

Kein Wissenschaftler will eine voreilige, falsche Schlussfolgerung ziehen! Gute Forschung basiert auf vielen Beobachtungen und wird immer und immer wieder durch Experimente überprüft. Für gewöhnlich beruhen die bedeutendsten wissenschaftlichen Entdeckungen auf fundierten Vermutungen, Experimenten und kontinuierlichem Infragestellen durch eine ganze Reihe von Forschern.

## Bildung und Umbildung von Gesteinen

Wie wir in Teil II dieses Buchs im Einzelnen sehen werden, basiert die Geologie auf der Betrachtung und Untersuchung von Gesteinen. *Gestein* ist dabei das, woraus ein *Stein* besteht. Steine sind, im wahrsten Sinne des Wortes, die Bausteine der Erde und ihrer Erscheinungsformen (wie Berge, Täler und Vulkane). Das Material, aus dem die Gesteine im Erdinneren und an der Erdoberfläche bestehen, verändert ständig seine Gestalt. Dieser Kreislauf und

die Prozesse der Gesteinsbildung und -verformung können anhand bestimmter Eigenschaften von Gesteinen, die heute an der Erdoberfläche liegen, zurückverfolgt werden.

## Wie sich Gesteine bilden

Merkmale wie Form, Farbe und Lage eines Gesteins erzählen uns die Geschichte seiner Entstehung. Ein großer Teil unseres geologischen Wissens basiert auf dem Verständnis der gesteinsbildenden Prozesse und der Bedingungen, unter denen sie ablaufen. Manche Gesteine entstehen beispielsweise tief unter der Erdoberfläche, bei großer Hitze und hohem Druck. Andere bilden sich nach jahrelanger Akkumulation und Kompaktion am Boden des Ozeans. Die drei Grundtypen von Gesteinen, die wir im Einzelnen in Kapitel 7 besprechen, sind:

- ✓ **Magmatische Gesteine:** Kühlt flüssiges Gesteinsmaterial (*Magma* oder *Lava*) ab, entstehen magmatische Gesteine (oder **Magmatite**). In den meisten Fällen stehen sie in Zusammenhang mit Vulkanismus.
- ✓ **Sedimentgesteine:** Die meisten Sedimentgesteine (oder **Sedimentite**) bilden sich durch die Kompaktion von Sedimentpartikeln, die sich am Grund eines Wasserkörpers – eines Ozeans oder Sees – abgesetzt haben. (Daneben gibt es chemische Sedimentgesteine, deren Bildung anders verläuft, wie wir in Kapitel 7 sehen werden.)
- ✓ **Metamorphe Gesteine:** Metamorphe Gesteine (oder **Metamorphite**) entstehen, wenn Sedimentgesteine, magmatische Gesteine oder andere metamorphe Gesteine hohem Druck oder starker Hitze (jedoch nicht so heiß, dass es zum Aufschmelzen reicht) ausgesetzt sind, wodurch sich ihre Mineralzusammensetzung verändert.

Jedes Gestein zeigt Merkmale, die auf bestimmte Prozesse und Umgebungsbedingungen (wie zum Beispiel eine bestimmte Temperatur) zurzeit seiner Entstehung zurückzuführen sind. So gibt jeder Stein Hinweise auf Ereignisse, die in früher Vergangenheit auf unserem Planeten stattgefunden haben. Kenntnisse über die Vergangenheit helfen uns, die Gegenwart zu verstehen und möglicherweise auch die Zukunft.

## Eine Reise durch den Gesteinskreislauf

Der *Gesteinskreislauf* beschreibt die Folge von Ereignissen, die ein Gestein in ein anderes verwandeln. Da es weder Anfang noch Ende gibt, spricht man von einem Kreislauf. Der Gesteinskreislauf schließt alle Gesteinstypen sowie die verschiedenen gesteinsbildenden Prozesse ein und veranschaulicht, wie Gesteinsmaterial bewegt und recycelt wird – sowohl an der Erdoberfläche als auch darunter. Wenn Sie den Gesteinskreislauf verstehen, verstehen Sie auch, dass sich jedes an der Erdoberfläche befindliche Gestein lediglich in einer Phase der Umwandlung befindet und dasselbe Material eines Tages ein völlig anderes Gestein bilden wird!

## Plattenbewegung in Slow Motion

Die meisten gesteinsbildenden Prozesse, denen wir im Gesteinskreislauf begegnen, beruhen auf der Kraft von Bewegung, Hitze oder Druck. Die Bildung eines Gebirges beispielsweise

erfordert Druck aus zwei Richtungen, der die Gesteine anhebt oder auffaltet. Dieser Bewegungstyp und die mit ihm verbundenen Kräfte sind das Ergebnis von Plattenbewegungen. Die Vorstellung, dass die äußere Schale der Erde in verschiedene puzzleartige, sich bewegende Stücke unterteilt ist, beschreibt die geowissenschaftliche Theorie der *Plattentektonik* (das Thema von Teil III in diesem Buch).

## Geologie und Plattentektonik im Einklang

Jahrzehntlang erforschten Geowissenschaftler verschiedene Bereiche der Erde, ohne zu wissen, wie all die Erscheinungen und Prozesse, die sie untersuchten, zusammenhängen. Die Idee, dass Teile der Erdkruste sich bewegen, kam bei den Geologen schon früh auf. Es dauerte jedoch eine Weile, bis überzeugende Beweise dafür gesammelt waren, wie wir in Kapitel 8 sehen werden.

Mitte des 20. Jahrhunderts lieferten Informationen über das Alter von Gesteinen am Ozeanboden, die während des Zweiten Weltkriegs gesammelt wurden, den Beweis, den die Wissenschaftler brauchten, um die Theorie der Plattentektonik zu entwerfen. Nachdem sie herausgefunden und anerkannt hatten, dass an den Plattengrenzen der *Mittelozeanischen Rücken* (an denen sich zwei Platten voneinander wegbewegen) neuer Ozeanboden gebildet wird, konnten die Forscher erklären, wie sich die Platten über die Erde bewegen.

Sie erkannten, dass die tektonischen Platten auf unterschiedliche Weise interagieren. Dieses Zusammenspiel zeigt sich in den 3 Typen von Plattengrenzen:

- ✓ **Konvergierende Plattengrenzen:** An konvergierenden Plattengrenzen bewegen sich zwei Platten aufeinander zu und treffen zusammen. Abhängig von ihrer Dichte bilden sich durch diese Kollision Gebirge, Vulkane, oder es kommt zur *Subduktion* einer der beiden Platten (was bedeutet, dass eine Platte unter die andere abtaucht).
- ✓ **Divergierende Plattengrenzen:** An divergierenden Plattengrenzen trennen sich zwei Platten und bewegen sich voneinander weg. Dies ist für gewöhnlich am Ozeanboden zu beobachten, wo abkühlendes Magma entlang der Plattengrenze einen Mittelozeanischen Rücken formt. Doch auch auf Kontinenten können divergierende Plattengrenzen auftreten, wie beispielsweise im Ostafrikanischen Grabensystem.
- ✓ **Transformstörungen:** An Transformstörungen kommt es weder zur Kollision noch zur Trennung zweier Platten. Hier bewegen sie sich lediglich aneinander vorbei.

In Kapitel 9 beschäftigen wir uns eingehender mit den verschiedenen Eigenheiten der tektonischen Platten – damit, wie sie auf ihrer Reise über die Erde miteinander wechselwirken, sowie mit den einzelnen geologischen Erscheinungen, die mit jedem Typ von Plattengrenze einhergehen.

## Die Suche nach dem Mechanismus, der alles antreibt

Unter Wissenschaftlern herrscht traute Einigkeit über die Theorie der Plattentektonik. Jedoch müssen die Geologen noch eine Übereinkunft finden, was genau die Platten zur Bewegung antreibt.

Im Wesentlichen gibt es drei Hypothesen, die eine Erklärung dafür liefern, was die tektonischen Platten in Bewegung versetzt. Sie alle beziehen sich auf die *Konvektion* des Erdmantels – die Zirkulation von heißem Gesteinsmaterial unter der Erdkruste –, doch jede konzentriert sich auf einen anderen Teil des Kreislaufs:

- ✓ **Mantelkonvektion:** Diese Hypothese geht davon aus, dass heißes Gesteinsmaterial im Erdinneren zirkuliert, indem es nach oben aufsteigt, abkühlt und wieder absinkt (wie das Wachs in einer Lavalampe), und die tektonischen Platten, die auf diesem Material schwimmen, in Richtung der Zirkulation mitbewegt werden.
- ✓ **Rückendruck (ridge push):** Diese Hypothese besagt, dass die Bildung von neuem Gesteinsmaterial entlang der Mittelozeanischen Rücken die ozeanischen Platten kontinuierlich nach oben und außen drückt, sodass die äußeren Plattenränder mit anderen Platten kollidieren.
- ✓ **Plattenzug (slab pull):** Diese Hypothese ist das Gegenteil des Rückendruck-Modells. Sie besagt, dass die schweren, dichten Außenränder einer tektonischen Platte an den Subduktionszonen in den Erdmantel absinken und den Rest der Platte mit sich ziehen.

Viele Wissenschaftler sind der Meinung, dass die Bewegung der Platten auf eine Kombination aller drei Antriebsmechanismen zurückzuführen ist. Lesen Sie Kapitel 10 und entscheiden Sie selbst, welche treibende Kraft wohl am wichtigsten für die Plattenbewegungen ist.

## Die Reise der Gesteine über die Erdoberfläche

Gesteine werden kontinuierlich auf der Erdoberfläche umherbewegt. Unter *Oberflächenprozessen* verstehen wir in der Geologie Veränderungen, die durch die Erdanziehungskraft sowie durch Wasser, Eis, Wind und Wellen hervorgerufen werden. Diese Kräfte formen die Oberfläche der Erde. Sie schaffen Landschaftsformen und -bilder auf eine Weise, die viel leichter zu beobachten ist als die weitreichenden Prozesse der Gesteinsbildung und Tektonik. Oberflächenprozesse sind außerdem geologische Prozesse, mit denen wir im täglichen Leben viel häufiger in Berührung kommen.

- ✓ **Erdanziehung:** Für uns auf der Erde ist die Schwerkraft etwas Selbstverständliches. Sie ist aber auch eine gewaltige Kraft, die feste Gesteine und Lockersedimente in Bewegung versetzt. Erdbeben sind beispielsweise die Folge, wenn die Schwerkraft über die Reibungskraft siegt und Materie nach unten zieht. Das Resultat dieser Anziehung sind *Massenbewegungen*, die wir in Kapitel 11 näher betrachten.
- ✓ **Wasser:** Zu den häufigsten Oberflächenprozessen gehört der Transport von Gesteinen und Lockersedimenten durch fließendes Wasser in einem Flussbett. Das Wasser bahnt sich seinen Weg über die Erdoberfläche, wobei es Sediment abträgt und ablagert und dabei die Landschaft neu formt. Dies tut es auf unterschiedliche Weise, wie wir in Kapitel 12 sehen werden.

- ✓ **Eis:** Ähnlich wie fließendes Wasser, nur kraftvoller, kann Eis Gesteine transportieren. Gletscherbewegungen können das Landschaftsbild eines ganzen Kontinents umgestalten. Das Kriechen von Gletschern und seine Auswirkungen auf die Landschaft werden in Kapitel 13 beschrieben.
- ✓ **Wind:** Die Kraft des Winds ist in trockenen Regionen der Erde vorherrschend. Sicherlich kennen Sie die Landschaftsformen, die durch den Wind gestaltet werden – *Dünen* –, doch möglicherweise wissen Sie nicht, dass abhängig von der Windgeschwindigkeit und Windrichtung viele verschiedene Typen von Dünen erzeugt werden. Mit diesen befassen wir uns in Kapitel 14.
- ✓ **Wellen:** Entlang der Küste ist Wasser in Gestalt von Wellen verantwortlich für die Formung der Uferlinie und die Bildung (oder Zerstörung) von Stränden. Die unterschiedlichen Landschaftsformen der Küste, die geschaffen werden, indem Wellen Sedimente abtragen oder anhäufen, sind im Einzelnen in Kapitel 15 beschrieben.

## Die lange Geschichte der Erde verstehen

Ein Vorteil des Geologiestudiums ist es, die in den Gesteinen verborgenen Geheimnisse der Vergangenheit zu erforschen. Sedimentgesteine, die sich, Schicht für Schicht, über lange Zeiträume hinweg gebildet haben, offenbaren uns die Geschichte der Erde. Sie erzählen von Klima- und Umweltveränderungen sowie von der Evolution – beginnend bei Einzellern bis hin zur heutigen Vielfalt des Lebens.

### Relative oder absolute Datierung?

Um das Alter von Gesteinen und Gesteinsschichten zu bestimmen, benutzen Wissenschaftler zwei Methoden: die relative und die absolute Datierung.

Bei der *relativen Datierung* wird das Alter einer Gesteinsschicht mit dem Alter einer anderen Schicht verglichen – die Schicht ist beispielsweise älter oder jünger als eine andere. Die Untersuchung von Gesteinsschichten oder Strata nennt man *Stratigraphie*. In relativen Datierungsmethoden finden *stratigrafische Gesetze* wie diese Anwendung:

- ✓ Unten liegende Gesteinsschichten sind im Allgemeinen älter als Schichten, die über ihnen liegen.
- ✓ Alle Schichten aus Sedimentgestein wurden ursprünglich horizontal abgelagert.
- ✓ Werden Schichten von einem anderen Gestein durchkreuzt, so ist dieses Gestein jünger als die Schichten, die es durchschneidet.

Diese und einige andere Gesetze, die in Kapitel 16 beschrieben werden, helfen den Geologen, die sich *Stratigrafen* nennen, dabei, die Abfolge von Gesteinsschichten so zu interpretieren, dass sie eine relative Abfolge von Ereignissen, die im Laufe der Erdgeschichte stattgefunden haben, darstellen können.

Manchmal reicht es jedoch nicht aus, einfach nur zu wissen, ob etwas älter oder jünger ist als irgendetwas anderes. *Absolute Altersdatierungen* nutzen daher radioaktive Atome (*Isotope*), um das tatsächliche Alter verschiedener Gesteine und Gesteinsschichten zu bestimmen. Mithilfe absoluter Datierungsmethoden findet man beispielsweise heraus, dass ein Gestein 2,6 Millionen Jahre alt ist. Diese Methoden basieren auf der aus Laborexperimenten gewonnenen Erkenntnis, dass manche Atome innerhalb einer bestimmten Zeit in andere Atome zerfallen. Nach Messung dieser Zerfallszeit im Labor können Wissenschaftler nun den Anteil der verschiedenen Atome in einem Gestein bestimmen und somit ein nahezu genaues Alter für die Entstehung des Gesteins angeben.

Die Bestimmung des absoluten Alters mithilfe von Isotopen mag kompliziert erscheinen, doch keine Bange: In Kapitel 16 erfahren Sie in allen Einzelheiten, wie absolute Alter ermittelt und wie diese mit relativen Altern kombiniert werden, um die *geologische Zeitskala* zu erstellen – eine Abfolge, die die geologische Geschichte unseres Planeten in verschiedene Zeiträume (wie Perioden, Epochen und Äonen) unterteilt.

## Zeugen der Evolution im Fossilbericht

Die faszinierendste Geschichte, die Gesteine uns erzählen, ist die Geschichte über die Entwicklung der Erde. Entwicklung oder *Evolution* bedeutet einfach nur Veränderung mit der Zeit – und in der Tat hat sich die Erde in den 4,5 Milliarden Jahren seit ihrer Entstehung entwickelt.

Sowohl die Erde selbst als auch die Organismen, die auf ihr leben, haben sich im Laufe der Zeit verändert. In Kapitel 17 bekommen Sie eine kurze Erklärung, was Biologen unter Evolution verstehen. Vieles, was wir heute über die Entwicklung der Arten wissen, basiert auf versteinerten oder in Gesteinsschichten konservierten Lebewesen, die wir *Fossilien* nennen. Zwar gibt es verschiedene geologische und chemische Prozesse, die zu einer Fossilisation führen, jedoch nur zwei Formen von Fossilien:

- ✓ **Körperfossilien:** Körperfossilien sind entweder die Überreste eines Lebewesens selbst, ein Negativabdruck im Gestein, eine Sedimentfüllung des Fossilinnenraums (*Steinkern*) oder ein Rückabdruck des Negativabdrucks auf diese Sedimentfüllung (*Prägesteinkern*).
- ✓ **Spurenfossilien:** Spurenfossilien sind Überreste, die von der Aktivität eines Lebewesens zeugen – beispielsweise von seiner Bewegung (Trittsiegel und Fährten) oder seiner Lebensweise (Bauten und Grabgänge). Da viele Tiere ähnliche Spuren erzeugen, kann man in den meisten Fällen nicht von einem Spurenfossil auf dessen Erzeuger schließen.

Nicht immer gab es Leben auf der Erde. In Kapitel 18 werden Sie sehen, dass die frühe Erde zur Zeit der Bildung unseres Sonnensystems ein lebloser, heißer Planet ohne Atmosphäre war. Es dauerte Milliarden von Jahren, bis primitive, einzellige Organismen in Erscheinung traten, deren Ursprünge heute immer noch ein wissenschaftliches Rätsel darstellen.

Primitive, einzellige Lebewesen beherrschten die Erde viele Millionen Jahre lang – bis zur *Kambrischen Explosion*. In Kapitel 19 erfahren Sie mehr über diese Periode, in der es zu einer relativ plötzlichen Zunahme der Artenvielfalt und Individuenzahl kam. Dort werden

auch die folgenden Millionen Jahre beschrieben, in denen Leben fast ausschließlich im Meer zu finden war, bevor die ersten Amphibien begannen, das Land zu besiedeln.

In Kapitel 20 tauchen wir in das Zeitalter der Reptilien ein, in dem Dinosaurier die Welt regierten und andere Reptilien den Himmel und die Meere bevölkerten. In dieser Zeit fanden sich alle Kontinente wie Puzzlestücke zusammen und bildeten den Superkontinent *Pangäa*. Südamerika und Afrika zeugen heute noch von der Existenz Pangäas – ihre Küstenlinien zeigen, wo die beiden Kontinente einmal miteinander verbunden waren.

Vor – geologisch gesehen – relativ kurzer Zeit übernahmen die Säugetiere die Herrschaft auf der Erde und lösten damit die Reptilien ab. Das Känozoikum, das vor 66 Millionen Jahren begann und in dem wir heute noch leben, ist das jüngste Erdzeitalter. Daher ist es auch anhand der Gesteine, die sich in ihm bildeten, am genauesten von allen zu beschreiben. Alle geologischen Landschaftsformen, die wir heute auf der Erde bewundern, wie der Grand Canyon oder die Berge des Himalayas und der Alpen, bildeten sich in diesem jüngsten Zeitabschnitt heraus. In Kapitel 21 beschäftigen wir uns mit der Evolution der Säugetiere (uns Menschen eingeschlossen) und den geologischen Veränderungen, die seitdem bis heute eintraten.

Durch sogenannte *Massenaussterbeereignisse* verschwanden im Laufe der Erdgeschichte mehrfach viele unterschiedliche Arten von der Bildfläche. In Kapitel 22 schauen wir uns die fünf größten dieser Aussterbeereignisse genauer an. Wir beschäftigen uns auch mit den häufigsten Ursachen für Massenaussterben, wie zum Beispiel Klimaveränderungen und Meteoriteneinschläge. Am Ende erfahren Sie, wie es durch uns Menschen zu einem erneuten Massenaussterben kommen könnte.

## Die Verteilung der Gesteine verstehen

Sicherlich wird es sich nun nicht mehr überraschen, dass die Gesteine nicht zufällig auf der Erde verteilt sind. Jeder Ort hat seine Entstehungsgeschichte, und daher kommen dort genau diejenigen Gesteine vor, die wir an diesem Ort finden können. Die heutige Verteilung der Gesteine ist dabei nur eine Momentaufnahme. Prozesse wie Erosion oder Gebirgsbildung sorgen dafür, dass die Gesteine an jedem Ort der Erde sich laufend verändern.

In Kapitel 23 erfahren Sie, wie geologische Karten und Profilschnitte erstellt werden, die die heutige Verteilung der Gesteine zeigen. Dabei sehen wir uns geologische Geländearbeit genauso an wie die Auswertung bereits vorhandener Daten beispielsweise aus Bohrungen. Anschließend erfahren Sie, welche Kenntnisse verwendet werden, um auch die frühere Verteilung der Gesteine zu beliebigen Zeitpunkten in der geologischen Vergangenheit zu rekonstruieren.

Kapitel 24 schließlich gibt einen Überblick über die Geologie von Deutschland mit Blicken auch über die Landesgrenzen hinweg. Deutschlands Geologie ist sehr vielfältig – es gibt verschiedenste Gesteine aller drei Grundtypen und in einem großen Altersspektrum vom Präkambrium bis heute. In diesem Kapitel werden daher Kenntnisse aus allen anderen Teilen dieses Buchs verknüpft.