

Geologische Arbeitsmethoden

1	Geländearbeit: Untersuchung vor Ort	298
	1.1 Hinweise vor der Geländearbeit	298
	1.2 Was nimmt man ins Gelände mit?	299
	1.3 Was ist ein Aufschluss?	299
	1.4 Aufschlussaufnahme	299
	1.5 Die Geologische Karte	307
2	Methoden im Labor	309
	2.1 Die Mikroskopie	309
	2.2 Die chemische Zusammensetzung des Gesteins	312
	2.3 Das Alter des Gesteins	314





Geologische Arbeitsmethoden

Geologische Arbeitsmethoden umfassen Untersuchungen sowohl im Gelände wie auch im Labor. Neue, zum Teil sehr aufwändige Methoden unterstützen dabei die geologische Forschung. Am Anfang aller Untersuchungen steht jedoch die Geländebeobachtung und Probenahme. Beides kann auch von Schülern nachvollzogen werden. Zum Einsatz von Labormethoden werden einige Beispiele gegeben.

1 Geländearbeit: Untersuchung vor Ort

Dieses Kapitel gibt Hinweise, wie Untersuchungen im Gelände durchzuführen sind und welche Hilfsmittel dazu benötigt werden. Dabei sollen die Sinne für das detaillierte Beobachten geschärft werden.

1.1 Hinweise vor der Geländearbeit

Noch bevor er mit den Schülern ins Gelände geht, muss sich der Lehrer Kenntnisse über den geologischen Aufbau des jeweiligen Gebietes aneignen (z. B. in geologischen Exkursionsführern). Diese Information wird vor der Geländearbeit auch an die Schüler weitergegeben. Hierbei sollen keine Einzelheiten über den jeweiligen Aufschluss, sondern vielmehr ein regional-geologischer Überblick vermittelt werden. Auch eine Kopie der topographischen Karte des Gebietes wird als Orientierungshilfe an die Schüler verteilt. In diese tragen die Schüler dann vor Ort die Lage der jeweiligen Aufschlüsse ein. Bei der Besichti-

gung von Abbaubetrieben oder Privatgelände (Liste der Rohstoffbetriebe ► [CD](#)), muss immer vorher eine Zustimmung vom Eigentümer eingeholt werden.

Folgende Sicherheitshinweise müssen vor der Geländearbeit angesprochen werden:

- In Steinbrüchen und an Felswänden stets einen Helm tragen!
- Während des Hämmerns oder auch nur beim Zuschauen, wie eine andere Person hämmert, unbedingt eine Schutzbrille tragen!
- Vor dem Hämmern auf andere Personen achten und diese ggf. auffordern wegzuschauen (den Kopf abwenden) oder ein Stück beiseite zu treten (höchste Verletzungsgefahr)!
- Im Aufschluss keine Steine lostreten, da diese andere, unterhalb stehende Personen gefährden könnten!

- In Naturschutzgebieten und von Naturdenkmälern dürfen keine Steine abgeschlagen oder mitgenommen werden! Vorher Erkundigungen einholen!

1.2 Was nimmt man ins Gelände mit?

Einige Hilfsmittel (Feldbuch, Lupe, ggf. Schutzhelm) müssen von jedem Teilnehmer mitgeführt werden, andere (z. B. Geologenhammer, Schutzbrillen, Kompass und Salzsäure) können gruppenweise eingesetzt werden. Fotoapparat, wasserfeste Stifte oder Klebeband sind nicht zwingend notwendig, sie erleichtern jedoch die Geländearbeit. Auf wettergerechte Kleidung sollte dringend geachtet werden, denn: es gibt kein schlechtes Wetter, nur schlechte Ausrüstung! Festes Schuhwerk (am besten knöchelhohe Wanderschuhe) und eine wasserdichte Bekleidung sind bei der Geländearbeit unverzichtbar, genauso wie ausreichender Sonnenschutz (Tipp: bei starker Sonneneinstrahlung einen Regenschirm als Schutz mitnehmen). Eine Kopfbedeckung (Mütze, Cap, Sonnenhut) ist bei der Geländearbeit immer empfehlenswert, da sie vor Hitzschlag aber auch vor kleinerem Steinschlag schützt. Bitte auch an genügend Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme denken. Eine „Erste Hilfe“-Ausstattung immer in Griffnähe haben!

1.3 Was ist ein Aufschluss?

Während der Geländearbeit werden Aufschlüsse aufgesucht und genau aufgenommen. Als Aufschluss wird in der Geologie eine Stelle bezeichnet, an der Gesteinsschichten, die sich normalerweise tief im Untergrund befinden, frei zu Tage treten. Dies geschieht auf natürliche Art und Weise durch Hebung und Erosion. Sind die Gesteinspakete in ihrer ursprünglichen → Lagerung erhalten, so spricht man vom „anstehenden Gestein“. Ein Aufschluss ist wie ein Fenster, durch das man einen Blick ins Erdinnere bekommt. Hier können alle Strukturen und Gesteinsarten erfasst werden, um sie in verschiedenen Diagrammen, Modellen oder geologischen Karten darzustellen. So erhält der Geologe wichtige Informationen, die in vielen Bereichen benötigt werden. Können keine geeigneten Aufschlüsse auffindig gemacht werden, müssen aufwändige und teilweise sehr

kostspielige Bohrverfahren eingesetzt werden. Neben den klassischen Aufschlüssen können auch die auf Feldern oder Wiesen herumliegenden Steine (Lesesteine) einen Hinweis auf die Geologie im Untergrund geben. Des Weiteren bieten Flussbetten mit den antransportierten Geröllen einen sehr guten Überblick über die in der Umgebung vorkommenden Gesteinsarten. Dabei gilt: je runder ein Stein, desto länger sein Transportweg, aber auch die Gesteishärte hat hier einen Einfluss.

1.4 Aufschlussaufnahme

Zu Beginn der Aufschlussaufnahme werden die Schritte 1 und 2 (Eckdaten und Positionierung) gemeinsam mit den Schülern besprochen und im Feldbuch notiert sowie die Aufschlussposition in die topographische Karte eingetragen. Anschließend werden die Schüler in Gruppen aufgeteilt, in denen sie den Schritt 3 (Aufschlussbeschreibung) selbst erarbeiten sollen.

H1 | Dickbankiger Sandstein (Mittlerer Burgsandstein) in Wechsellagerung mit Lettenschichten in der alten Steinbruchwand im Nürnberger Tiergarten.



Die Grundausrüstung



Das wichtigste Werkzeug ist der **Hammer**. Am besten geeignet ist der Geologenhammer: er besteht aus speziell gehärtetem Stahl, der selbst bei härtesten Gesteinen nicht splittert. Geologenhämmer gibt es für rund fünfzig Euro im Versandhandel oder im Outdoor-Fachgeschäft. Von herkömmlichen Hämmern aus dem Baumarkt ist abzuraten, denn beim Einschlag auf hartem Gestein (Granit, Basalt, metamorphes Gestein) können Splitter vom Stahl oder der Kopf vom Stiel gelöst werden und so zu Verletzungen führen.

Jeder, der einen Hammer einsetzt, muss eine **Sicherheitsbrille** tragen, da sie die Augen vor Gesteinsplittern schützt! Andere umstehende Personen müssen dabei einen Sicherheitsabstand (2-3 m) wahren und den Kopf vom Geschehen abwenden, damit die Augen nicht verletzt werden. Sicherheitsbrillen gibt es z. B. im Baumarkt, evtl. auch beim Chemielehrer nachfragen!



In Steinbrüchen ist **Schutzhelm** Pflicht! In Aufschlüssen mit Steilwänden ist er ebenfalls empfehlenswert, da er vor losgetretenem Steinschlag durch herumkletternde Personen schützt.

Ein **Höhenmesser** ist nur im Gebirge notwendig, wo er die Orientierung und Positionierung erleichtert.



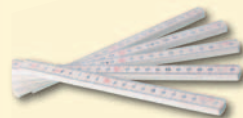
Eine **Lupe** erleichtert das Erkennen von kleinen Mineralen, die oft bei der Identifizierung eines Gesteins maßgebend sind. Am besten sind einklappbare Lupen mit zehnfacher Vergrößerung, deren Linse durch einen Metalldeckel geschützt ist.

Der **Kompass** dient zur Orientierung und zum Einmessen der Strukturen (► Exkurs „Einmessen von Strukturen“).



Verdünnte (1-molare) **Salzsäure** (Chemielehrer) zur Bestimmung des Karbonatanteils im Gestein (siehe Salzsäuretest). Fläschchen mit Pipette bekommt man z. B. in der Apotheke oder beim Chemielehrer.

Mit dem **Zollstock** wird der Aufschluss vermessen (z. B. Größe des Aufschlusses, Mächtigkeit der Gesteine, etc.). Er kann aber auch als Maßstab beim Fotografieren eingesetzt werden.



Im **Feldbuch** (Protokollbuch) werden alle Notizen und Beobachtungen aufgezeichnet. Alles, was nicht im Gelände notiert wird, geht für immer verloren! Das Feldbuch sollte einen festen Einband haben, damit auch ohne Unterlage geschrieben werden kann. Praktisch sind DIN A 5-Notizbücher mit karierten Blättern. Zum Notieren benutzt man einen Bleistift, weil damit auch auf feuchtem Papier geschrieben werden kann. An einen Spitzer, Radiergummi und Ersatzstift denken!



Ein **Klemmbrett** ist als feste Unterlage z. B. für Karten oder Aufgabenblätter unerlässlich. Es sollte mit einer regenfesten Abdeckung (Folie) ausgestattet sein. Ein Klemmbrett kann z. B. im Werkunterricht angefertigt werden.

Ein **Fotoapparat** kann als Dokumentationshilfe eingesetzt werden. Er darf aber Notizen und Skizzen keinesfalls ersetzen. Stets an einen Maßstab (Hammer, Geldstück, Zollstock) auf dem Foto denken!



Sonstiges: **Plastiktüten** (z. B. Gefrierbeutel) für bröselige Gesteinsproben; **Klebeband** und **wasserfester Stift oder Lackstift** (in schwarz und weiß für helle bzw. dunkle Steine).

Eckdaten

- Datum, evtl. Uhrzeit
- Name und/oder Nummer des Aufschlusses
- Manchmal ist es hilfreich, sich Notizen über das Wetter zu machen, denn bei sich ändernden Lichtverhältnissen und unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit kann der Eindruck vom Aufschluss variieren.
- In welcher geologischen Einheit (► Kapitel 1.5) befindet sich der Aufschluss?

Positionierung

- Kurzbeschreibung des Anfahrtsweges: „Zum Aufschluss gelangt man über die A3, Ausfahrt Fischbach, Weiterfahrt über die B12 ...“
- Die genaue Position beschreiben: „Der Aufschluss befindet sich an der B4 am Ortsausgang Oberndorf, drei Meter in östlicher Richtung von der Straße entfernt...“
- Die Position (ein Kreuz) der Aufschlüsse in die topographische Karte eintragen.
- Die Koordinaten mit Hilfe von GPS (Genauigkeit ca. 1 Meter) feststellen: Dies ist vor allem dann von Vorteil, wenn sich der Aufschluss an einer versteckten Stelle befindet, z. B. mitten im Wald, weit weg von einem Weg. Außerdem werden mit Hilfe von GPS-Koordinaten (► Exkurs „Geographische Informationssysteme“) Informationen verortet und somit für GIS (Geoinformationssysteme) zur Verfügung gestellt. Dadurch ist es anderen Personen möglich, geologische Informationen über dieses Gebiet ohne erneute Aufschlussaufnahme abzufragen.
- Im Gebirge: Bestimmung der Höhe mit einem Höhenmesser (erleichtert die Orientierung und Positionierung, da im Gebirge kleinere Pfade oder Wanderwege oft nicht in Karten dargestellt sind).

Aufschlussbeschreibung: beobachten, beschreiben, zeichnen

Nun tritt man zunächst einen Schritt zurück und versucht, den Aufschluss in seiner Gesamtheit zu erfassen. Später, bei der Gesteinsansprache und der Aufschlussaufnahme, wird man auf die Einzelheiten näher eingehen.

Beschaffenheit des Aufschlusses im Ganzen

- Ausmaß (... der Aufschluss ist x m lang und x m hoch)
- Zustand (alt, verwittert, zugewachsen)
- Entstehung (natürlich: Klippe, Fluss...; künstlich: Steinbruch, Straßenanschnitt...)
- Gibt es markante Stellen? (das kann z. B. eine Falte, Bankung oder Störung sein)

Makroskopische Gesteinsansprache

Nun geht man näher an den Aufschluss heran und schaut sich die vorliegenden Gesteine an. Eine Beschreibung des Gesteins nennt der Geologe Gesteinsansprache. Hierzu sollte man einen Fels anfassen oder ein abgebrochenes Stück Stein in die Hand nehmen (Handstück). Dabei ist darauf zu achten, dass das Handstück eine frisch angebrochene Stelle besitzt. Falls nicht, wird ein Stück weggeschlagen. Bei der Beschreibung werden alle Sinne eingesetzt: Man fühlt, riecht, hört, schmeckt und sieht das Gestein. Der Sehsinn wird an letzter Stelle eingesetzt, da er die anderen Sinne zu stark in den Hintergrund drängt. All diese Eindrücke werden nun ins Feldbuch notiert:

- Fühlen: Der Stein wird mit den Fingern abgetastet (die Augen schließen). Dabei kann z. B. die Korngröße ertastet werden. Wie fühlt sich der Stein an: glatt oder rau, schmierig oder trocken, zerbröseln er beim Anfassen?
- Riechen: Jeder Stein riecht anders. Enthält das Gestein z. B. Schwefelwasserstoff, so riecht er nach faulen Eiern. Oft ist auch ein erdiger Geruch wahrnehmbar.
- Hören: Steine können sich unterschiedlich anhören, wenn man mit dem Hammer daraufschlägt. Dies hat mit der Gesteinszusammensetzung, dem Anteil von mehr oder weniger kleinen Rissen oder dem Verwitterungsgrad zu tun.
- Schmecken: Bestimmte Sedimente können auch im Mund identifiziert werden: Ton zergeht auf der Zunge, Schluff und Sand knirschen zwischen den Zähnen, Salze können mit der Zungenspitze geschmeckt werden.
- Sehen: Bei den visuellen Eindrücken achtet man auf folgende Eigenschaften: Zustand des Handstücks (frisch oder ver-

Korngröße	Beschreibung
< 1 mm	feinkörnig
1 – 3 mm	mittelkörnig
3 – 10 mm	grobkörnig
> 10 mm	großkörnig

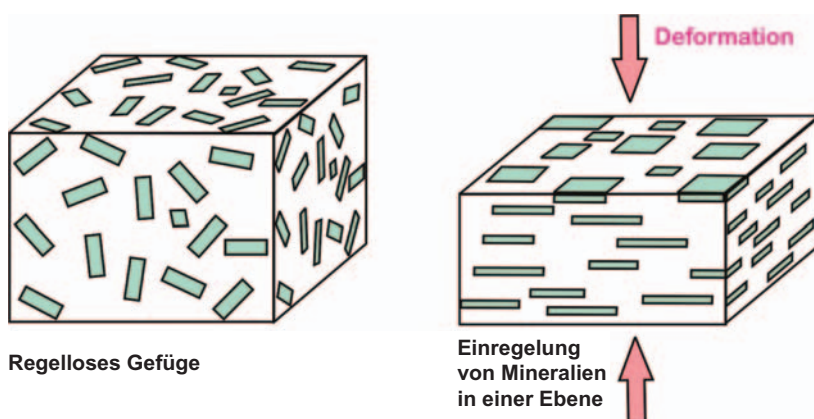
Tabelle H1 | Körnigkeit von Gesteinen.

wittert); Farbe; Fossilinhalt; Korngröße (↗ Tabelle H1); Kornform (rund, eckig, plattig oder stängelig); Bruch (abgebrochene Stelle am Stein: plattig, muschelrig, ...); kristalline Gesteine: Matrix im Vergleich zu den Mineraleinsprenglingen (= größere, frühzeitig ausgeschiedene Kristalle). Sind sie einheitlich eingeregelt oder unterschiedlich orientiert? Sedimentgesteine: Woraus besteht der Zement (siehe Ritztest und Salzsäuretest). Werden die Komponenten (Minerale) sehr klein, nimmt man eine Lupe zur Hand. Hierzu hält man diese direkt ans Auge und führt das Handstück so nahe heran, bis die Bestandteile scharf zu sehen sind: Welche Farbe haben die Minerale? Wie viele kann man unterscheiden?

Außer den Sinneseindrücken kann man sich noch weitere Hilfsmittel bedienen:

- Ritztest: Mit dem Ritztest kann herausgefunden werden, ob das Gestein Quarz enthält oder nicht. Dabei wird der Hammer mit dem Handstück geritzt: ist ein Kratzer zu sehen, ist Quarz enthalten (Quarz ritzt Stahl; siehe auch ↗ Tabelle H2, Mohs'sche Härteskala).
- Salzsäuretest: Um zu bestimmen, ob das Gestein aus Karbonat besteht, träufelt man (1-molare) Salzsäure auf das Handstück. Fängt es an dieser Stelle an zu schäumen, so enthält das Gestein Karbonat. Kalzit (Ca-Karbonat) braust dabei stark ($\text{CaCO}_3 + 2 \text{HCl} \Rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$), Dolomit (Ca,Mg-Karbonat) dagegen nur schwach. Dieser Test ist besonders praktisch z. B. bei der Identifizierung von Aderverfüllungen oder bei der Bestimmung von karbonatischem Zement in Sedimentgesteinen. Achtung: das Handstück anschließend nicht mehr anfassen, riechen oder abblecken!

H2 | Mineraleinregelung durch Druck während der Deformation des Gesteins.



Mohs-härte	Mineral	Hilfsprüfung
1	Talk	mit Fingernagel schabbar
2	Gips	mit Fingernagel ritzbar
3	Calcit	mit Kupfermünze ritzbar
4	Fluorit	mit Messer leicht ritzbar
5	Apatit	mit Messer noch ritzbar
6	Orthoklas	mit Stahlfeile ritzbar
7	Quarz	ritz Fensterglas, Hammer
8	Topas	-
9	Korund	-
10	Diamant	-

Tabelle H2 | Die Mohs'sche Härteskala.

Strukturen in Gesteinen

In einem Aufschluss werden nicht nur Gesteine, sondern auch die darin enthaltenen Strukturen bestimmt. Die geometrische Beziehung zwischen den verschiedenen Strukturen wird in der Geologie als Gefüge bezeichnet. Im Aufschluss soll vor allem darauf geachtet werden, welche Strukturen zu erkennen sind. Falls Kompass vorhanden, wird auch ihre Raumlage eingemessen (► Exkurs „Einmessen der Raumlage von Strukturen“). Aufgrund solcher Raumlage-Daten können Geologen z. B. die Wegsamkeit von Grundwasser aufgrund der Orientierung von Klüften ermitteln oder das tektonische Regime einer Region z. B. als wichtigen Hinweis in der Erdbebenforschung. Für die Bestimmung der Raumlage von Strukturen benutzen die Geologen einen speziellen Kompass. Für die Geländearbeit mit Schülern reicht jedoch ein Marschkompass völlig aus.

Primäre Strukturen bilden sich während der Entstehung des Gesteins. Hierzu zählt z. B. die Schichtung. Von einer Schichtung spricht man nur bei Sedimentgesteinen. Sie wird durch einen Materialwechsel verursacht, der während der Gesteinsablagerung durch sich ändernde Bedingungen entsteht (► Modul B „Minerale und Gesteine“). Ist eine relativ mächtige Schicht (z. B. Sandstein) durch eine andere Schicht (z. B. Mergellage) deutlich abgegrenzt, so spricht man auch von einer Bank.

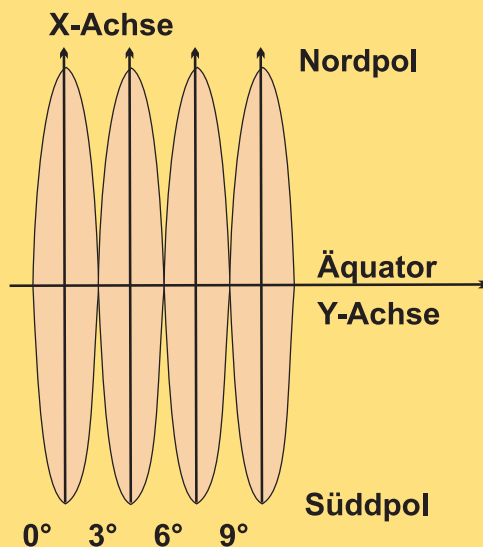
Geographische Informationssysteme (GIS)

Das GIS dient zur computergestützten Erfassung, Speicherung aber auch Analyse von raumbezogener Information. Mit GIS lässt sich erfasste Information jeglicher Art über jeden Ort oder jede verortete Sache auf der Erde abrufen. Diese Information kann dann weiter verarbeitet oder graphisch dargestellt werden. Ein kleines Beispiel, das für den Laien wichtig ist, ist das Planen von Routen im Internet.

Gauß-Krüger-Koordinaten und das GPS

Um das Abfragen von raumbezogenen Koordinaten zu ermöglichen, müssen Informationen über Orte oder Dinge mit metrischen Koordinaten verortet werden. Dies geschieht mit Hilfe der Gauß-Krüger-Koordinaten, indem einem Gebiet ein Rechts- und ein Hochwert (s. u.) zugewiesen wird. Auf diese Weise besitzt jeder beliebige Ort auf der Erde eine nur ihm zugeordnete Kombination an Zahlen und ist somit sofort identifizierbar.

Das ist vor allem dann wichtig, wenn mit einem GPS-Gerät die Koordinaten bestimmt werden sollen. Das Prinzip der Gauß-Krüger-Koordinaten beruht darauf, dass die Oberfläche der Erdkugel zwischen jedem dritten Meridian aufgeschnitten wird, wodurch man 120 schmale Streifen erhält. Jeder Streifen bekommt eine Kennung, die sich nach dem Meridian richtet: der erste Streifen bekommt die Null (0°), der zweite die drei (3°), usw.



H3 | Die Gauß-Krüger-Koordinaten.

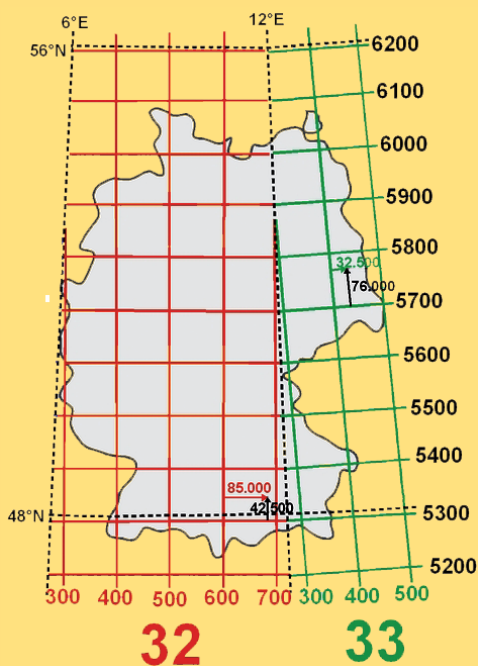
Jeder Streifen besitzt dabei ein eigenes Koordinatensystem mit dem Nullpunkt in der Mitte und am Schnittpunkt vom Äquator. Die Streifen sind so schmal, dass man die Wölbung der Erdkugel vernachlässigen kann und sie demzufolge als eben ansieht. Das ist wichtig, damit über diese Streifen ein rechtwinkliges Gitternetz angelegt werden kann (z. B. das UTM-Koordinatensystem).

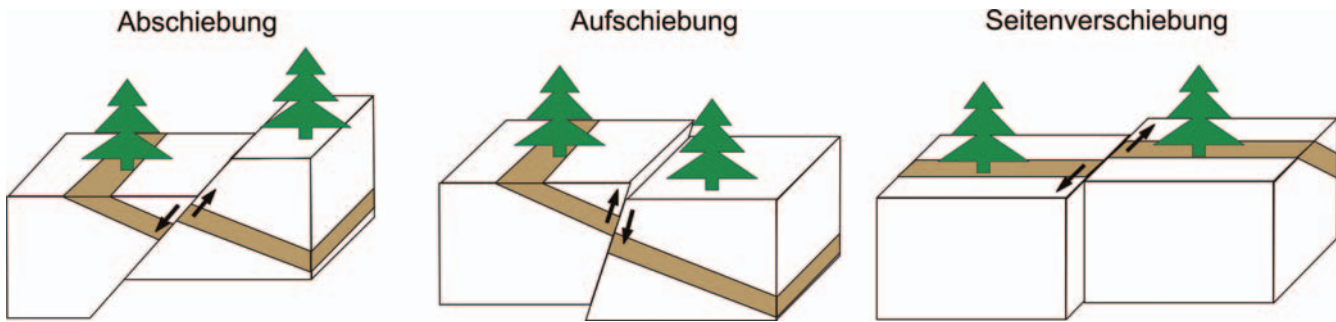
Universal Transverse Mercator (UTM-) Koordinaten

Das UTM-Koordinatensystem ist aus dem Gauß-Krüger-Koordinatensystem abgeleitet und wurde 1947 von der US-Armee entwickelt, um auf großmaßstäbigen Militärkarten rechtwinklige Koordinaten zu erhalten. Das UTM-System teilt die komplette Erde in der Ost-West Richtung in 60 Meridianstreifen (Zonen) von 6° Breite. Die Hauptmeridiane (Meridiane in der Mitte der Zonen) liegen bei 3°, 9°, 15°, 21° usw. bis 177°. Man beginnt aber nicht mit dem Zählen der Zonen bei Greenwich (0° Meridian), sondern genau auf der gegenüberliegenden Seite der Erde. Von 180° bis 174° westlicher Länge ist die erste Zone.

Deutschland zum größten Teil in Zone 32. Die UTM-Gitterkoordinaten werden als Entfernung in Metern nach Osten ausgedrückt, dies wird „Rechtswert“ genannt, und als Entfernung in Metern nach Norden, dies wird als „Hochwert“ bezeichnet.

H4 | Die UTM-Koordinaten mit Beispielen zur Bestimmung der Rechts- und Hochwerte.





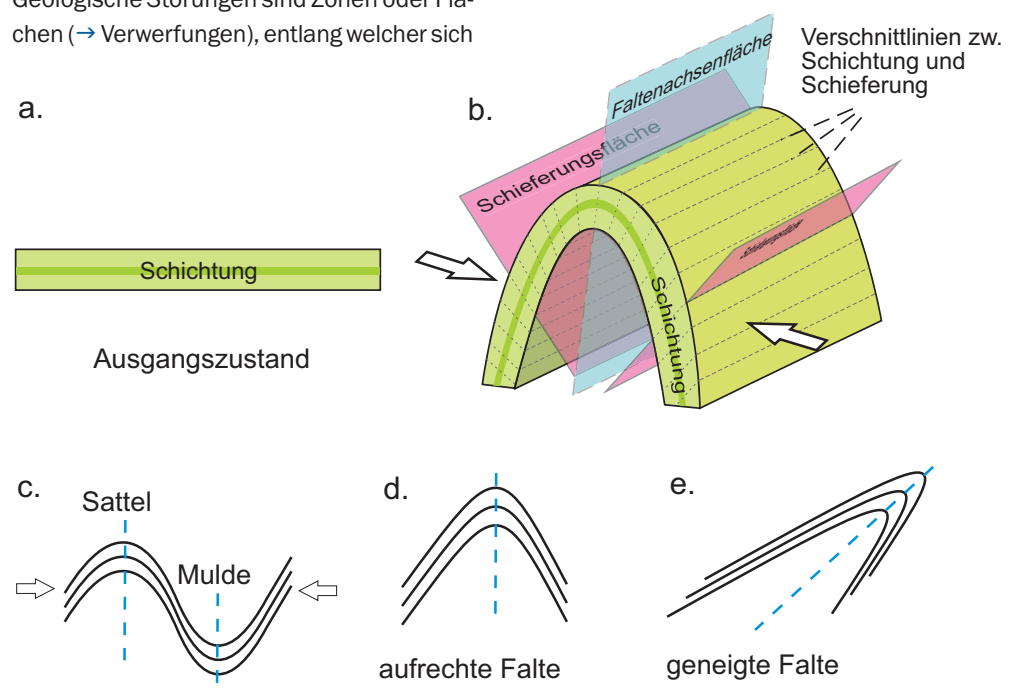
H5 | Drei Grundtypen von Störungen. Betrachtet wird bei der Auf- und Abschiebung jeweils die Bewegung der → Hangendscholle (Gesteine oberhalb der Störungsbahn) zur → Liegendscholle (Gesteine unterhalb der Störungsbahn). Bei der Seitenverschiebung (Blattverschiebung) wird eine Bewegung im Uhrzeigersinn (rechtsseitig, dextral) von einer Bewegung gegen den Uhrzeigersinn (linksseitig, sinistral) unterschieden. Die schwarzen Pfeile deuten die Relativbewegung an.

Sekundäre Strukturen entstehen erst nach der Bildung der Gesteine durch die Einwirkung von Deformation während tektonischer Prozesse (z. B. während der Gebirgsbildung). Hierzu zählen Schieferung, Störungen, Klüfte oder Falten. Bei der Schieferung handelt es sich um lagige Trennflächen, an denen das Gestein am leichtesten in mehr oder weniger dünne Platten zu spalten ist. Dies wird durch Deformation bzw. Metamorphose verursacht, in dem sich plattige Minerale (v. a. Tonminerale oder Glimmer) in einer Ebene senkrecht zum größten Druck einregeln (↗ H4). So wird während der Metamorphose z. B. aus einem Tonstein, der noch eine Schichtung besitzt, ein Tonschiefer und dann ein Glimmerschiefer, in dem sich die Tonminerale in Schichtminerale (Glimmer) umwandeln und dabei in einer Ebene ausrichten. Ist die Schieferung in metamorphen Gesteinen nicht deutlich ausgeprägt, so spricht man von einer Foliation (= metamorphes Lagengefüge).

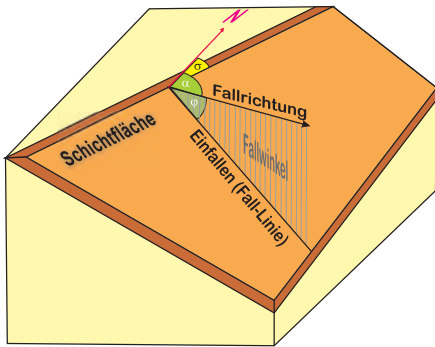
Gesteine/Minerale gegeneinander verschoben haben (↗ H5). Störungen können sich über viele Größenordnungen, von mehreren hundert Kilometern umfassenden Strukturen in der Lithosphäre und der Erdkruste (an Plattengrenzen z. B. San Andreas Störung) bis zu Mikro- und Nanometer kleinen Dislokationen (Versatz) in Gesteinen und Mineralen lokalisieren. Die durch Deformation entstandene Trennfläche, aber auch der Vorgang selbst, wird als Störung bezeichnet.

→ Klüfte sind Trennflächen im Gestein. Im Gegensatz zur Schieferung haben sich keine Minerale eingeregelt. Im Gegensatz zu Störungen fand kein Versatz entlang der Trennflächen statt. Klüfte bilden sich z. B. bei der Heraushebung der Gesteine (► Modul E „Landschaftsentwicklung in Bayern“, ↗ E9) oder der Abkühlung von magmatischen Schmelzen (► Modul I „Außerschulische Lernorte“, Exkursion Nr. 8).

Geologische Störungen sind Zonen oder Flächen (→ Verwerfungen), entlang welcher sich



H6 | Elemente einer Falte.



H7 | Fallrichtung und Fallwinkel einer geneigten Fläche

Falten treten in allen möglichen Variationen und Größenordnungen (mm-, cm- oder m-Bereich) auf. Im Aufschluss wird darauf geachtet, ob es sich z. B. um eine Mulde (→ Synklinale) oder einen Sattel (→ Antiklinale) handelt. Mit einem Kompass kann die Himmelsrichtung bestimmt werden, in die der Faltenschinkel einfällt. Den Prozess der Faltung kann man auch mit einem kleinen Experiment nachmachen. Man braucht nur ein bis drei DIN-A4 Papierblätter: Man fasst das Papier an beiden Enden an und schiebt diese vorsichtig zusammen. Je nachdem, ob parallel oder etwas versetzt geschoben wird, entstehen aufrechte oder geneigte Falten (→ H6).

Raumlage von geologischen Strukturen

Die Raumlage (Orientierung) von Strukturen wird mit einem Kompass bestimmt (► Exkurs „Einmessen der Raumlage von geologischen Strukturen“). Es werden generell zwei Werte eingemessen: Das Streichen und das Fallen (→ H7).

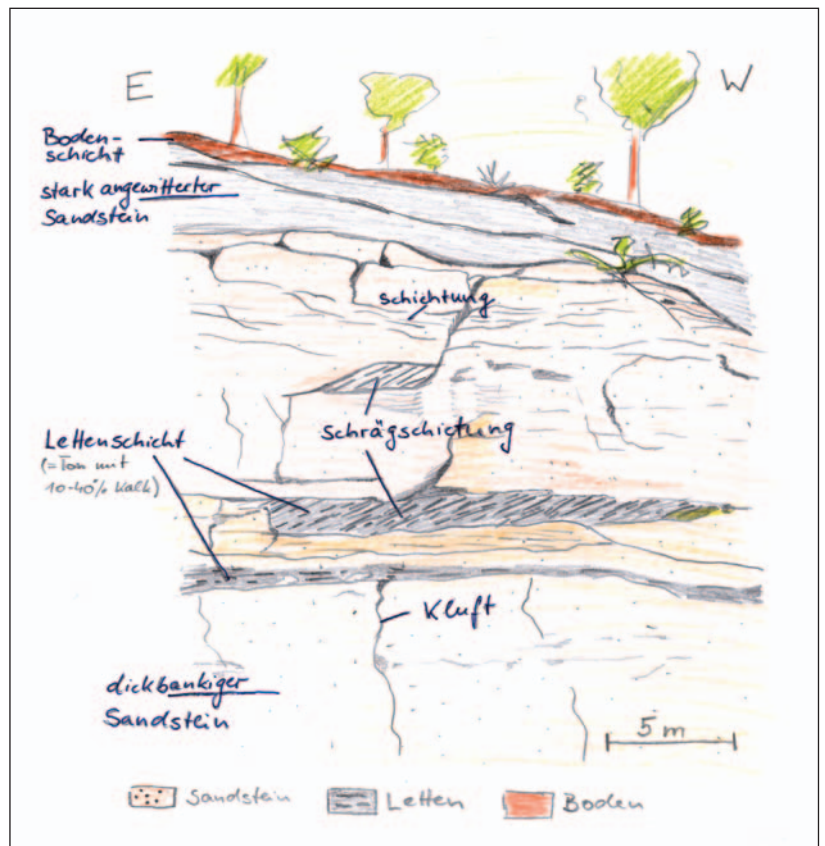
Das Streichen ist eine Schnittlinie, die aus dem Verschnitt der Fläche mit einer horizontalen Ebene entsteht. Das Fallen setzt sich wiederum aus zwei Werten zusammen: (1) der Fallrichtung (α), die die Abweichung von magnetisch Nord ist. Sie repräsentiert die Richtung, in die die Schicht einfällt. Und (2) dem Fallwinkel (φ), der den Winkel zwischen der Fläche und der Horizontalen bildet. Das Streichen steht dabei senkrecht, also mit 90° zur Fallrichtung. Somit kann aus dem Streichen die Fallrichtung berechnet werden und umgekehrt:

$$\text{Streichen } (\sigma) = \text{Fallrichtung } (\alpha) \pm 90^\circ$$

Skizzen und Fotos

Nach der Aufnahme werden Detailskizzen von Strukturen sowie eine Aufschlusskizze angefertigt. Es müssen keine Meisterwerke werden, aber es gilt immer: besser eine schlechte Skizze als gar keine! In jeder Skizze muss jedoch die Himmelsrichtung und ein Maßstab angegeben werden! In der Aufschlusskizze müssen alle markanten Strukturen (z. B. Falten, Schichtung, Schieferung, Störungsflächen) enthalten sein. Hier wird auch die Position der eingemessenen oder beprobten Stellen mittels einer Nummer eingetragen.

H8 | Aufschlusskizze der alten Steinbruchwand im Nürnberger Tiergarten (Originalfoto → H1).



Zur zusätzlichen Dokumentation können Fotos gemacht werden (Foto-Nummer ins Feldbuch eintragen!). Diese dürfen jedoch auf keinen Fall die Skizzen ersetzen. Eine Skizze hebt die Strukturen viel deutlicher hervor. Unbedingt an einen Maßstab (Münze, Bleistift, Hammer oder Person) denken! Die Himmelsrichtung sowie eine kurze Beschreibung, was auf dem Foto zu sehen ist, werden ins Feldbuch notiert.

Gesteinsbezeichnung

Nach den Untersuchungen kann die Gesteinsbezeichnung abgeleitet werden (nötige Vorkenntnisse ► Modul B „Gesteine und Minerale“). Dabei geht man so vor, dass das Gestein zuerst einer der drei großen Gesteinsgruppen (Sedimente, Magmatite, Metamorphite) zugewiesen wird (das sollte man auf jeden Fall können) und erst dann eine spezifische Gesteinsbezeichnung (z. B. Sandstein, Granit, Schiefer) bestimmt wird. Eine genauere Bestimmung im Gelände ist auch für einen Geologen nicht immer möglich. Deswegen werden Gesteinsproben entnommen, die im Labor mit verschiedenen Methoden weiter untersucht werden.

Probenahme und Probenbeschriftung

Die Probenahme wird an einer für das Gestein repräsentativen Stelle mit dem Geologenhammer entnommen (Sicherheitshinweise beachten!). Mit der flachen Seite des Hammers werden kleinere Proben (etwa faustdick) herausgeschlagen. Solch eine Probe nennt der Geologe Handstück. Mit der spitzen Seite des Hammers kann die Gesteinsprobe gespalten werden. Jedes Handstück erhält eine Nummer (mit Lackstift), die im Feldbuch und ggf. auch in der zuvor angefertigten Skizze notiert wird. Die entnommenen Gesteinsproben werden mit einem Klebeband umwickelt, auf welches nochmals die Probennummer geschrieben wird (für den Fall, dass ausgerechnet das Stück wegbricht, auf dem die Nummer steht). Falls die Proben

Einmessen der Raumlage von geologischen Strukturen



H9a

I. Einmessen des Streichens:

1. Kompass horizontal halten und die lange Kante an die Fläche anlegen.
2. Einnorden: Während der Kompass immer noch an der Fläche anliegt, wird jetzt die schwarze Kompassdose so weit gedreht, bis die Kompassnadel und der schwarz-rote Pfeil am Boden der Dose parallel angeordnet sind. Dabei muss die rote Nadel im roten Pfeil zu liegen kommen.
3. Es wird der Wert abgelesen, den die weiße Markierung außen an der Kreisskala der schwarzen Kompassdose anzeigt. Da das Streichen nur zwischen 0° und 179° angegeben wird, muss diejenige Markierung berücksichtigt werden, welche innerhalb dieses Bereiches liegt (z. B. 176°).

II. Einmessen des Einfallwinkels:

1. Zunächst muss die schwarze Kompassdose solange gedreht werden, bis die 90° -Marken der inneren Skala mit den äußeren weißen Strichmarkierungen übereinstimmen.
2. Die lange Kante des Kompasses wird vertikal an die Fläche gelegt.
3. Es wird der Wert abgelesen, den das Lot in der inneren Kreisskala angibt (z.B. 40°).
4. Zum Streich- und Fallwert muss zusätzlich die Himmelsrichtung notiert werden, in die die eingemessene Fläche einfällt (z.B. West).

Ergebnis:

angegeben wird entweder das Streichen und Fallen der Fläche, also in diesem Fall $176^\circ/40^\circ$ W, oder Fallrichtung und Fallwinkel der Fläche mit $266^\circ/40^\circ$ (↗ H7)



H9b

leicht bröseln, werden sie in Plastiktüten verpackt (Nummer nicht vergessen). Es empfiehlt sich, ein Handstück mehrfach zu beschriften, denn nichts ist ärgerlicher, als zu Hause eine Probe zu finden, deren Nummer fehlt und deswegen ihre Herkunft nicht mehr nachvollziehbar ist.

Bericht

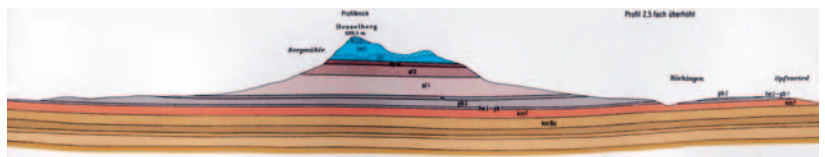
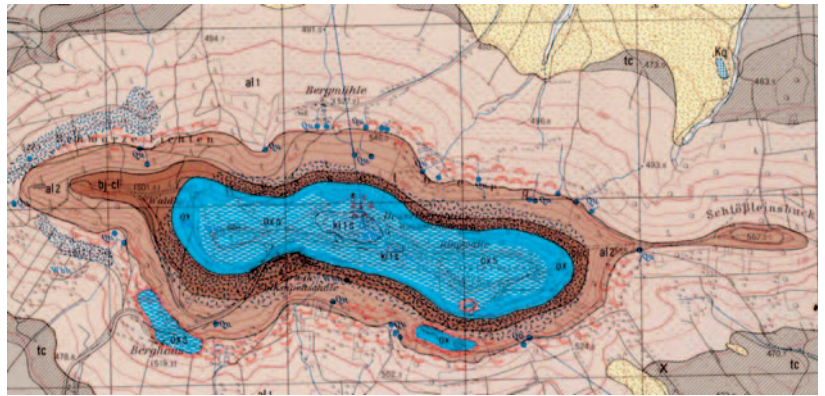
Nach der Geländearbeit wird ein Bericht erstellt. Hier sollen alle Aufschlüsse dokumentiert werden und auch Skizzen, Fotos und mitgebrachte Proben sowie anschließende Untersuchungsergebnisse eingebunden werden.

1.5 Die Geologische Karte

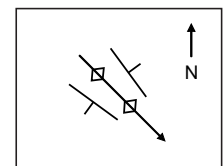
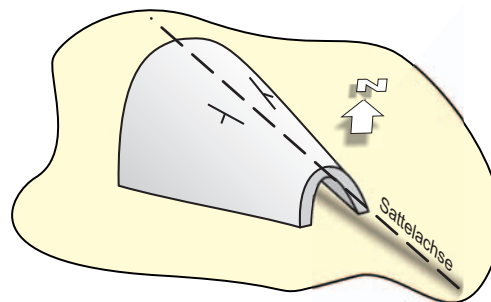
Die Geologische Karte ist eine Darstellung der geologischen Gegebenheiten eines Gebietes in einem Kartenblatt. Grundlage ist die topographische Karte, in diese wird die flächenhafte Verbreitung geologischer Formationen eingetragen. Die geologische Grundkarte hat im Allgemeinen den Maßstab 1:25.000. Detailkartierungen werden jedoch auch im kleineren Maßstab von 1:10.000 oder auch 1:5.000 angefertigt. Der Maßstab 1:50.000 wird nur in Ausnahmefällen verwendet, z. B. falls der geologische Untergrund großflächig aus denselben Gesteinen aufgebaut ist. Aus den Grundkarten können Übersichtskarten im Maßstab 1:100.000, 1:200.000 oder 1:250.000 erstellt werden.

Kartierung

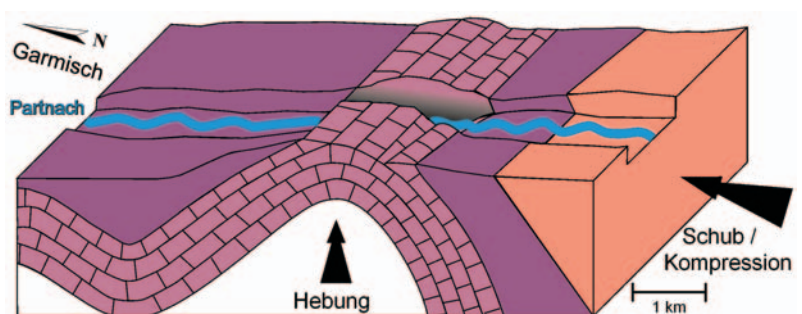
Der Transfer von Geländebeobachtung in die Kartendarstellung wird Kartierung genannt. Im Gelände unterscheidbar Gesteinseinheiten werden als → Formationen bezeichnet. Alle Informationen wie Gesteinsname, stratigraphische Situation, Lagerungsverhältnisse gehen mit ein. Dabei muss eine dreidimensionale Information (Orientierung von Schichtflächen im Raum) auf eine zweidimensionale Darstellung reduziert werden. Bezüglich der geologischen Situation des Untergrundes werden Profilschnitte (Querschnitte) angefertigt, die die strukturellen Lagerungsverhältnisse und/oder Mächtigkeiten abbilden, die im Gelände nicht direkt beobachtet werden können.



H10 | *Oben: Ein Ausschnitt aus der Geologischen Karte von Wassertrüdingen (1 : 25 000) zeigt die geologische Situation des Hesselbergs. Unten: Ein Profilschnitt durch den Hesselberg zeigt die Mächtigkeiten der Schichtenfolge.*

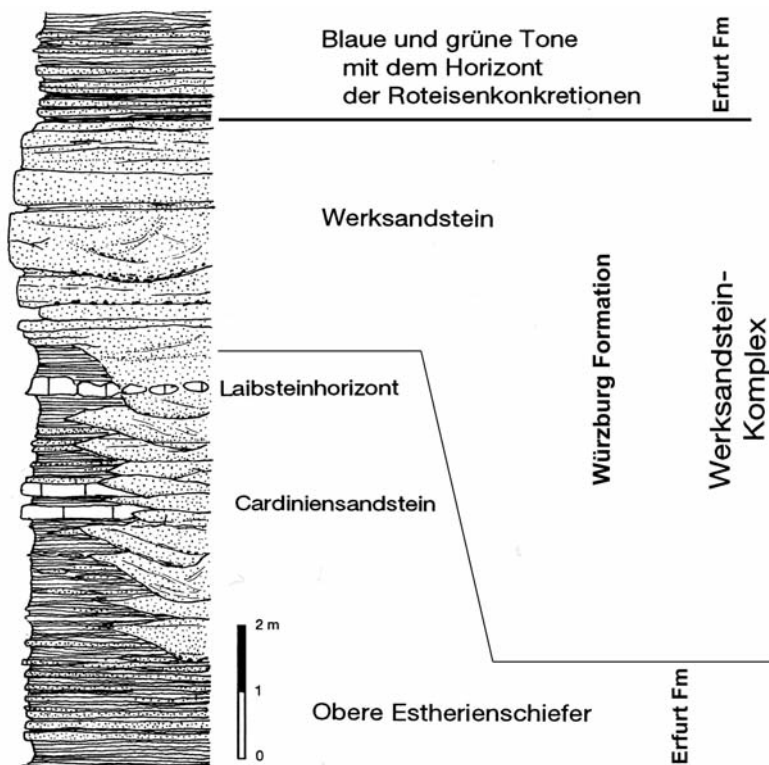


H11 | *Darstellung von Schichteinfällen in geologischen Karten durch Symbole.*



H12 | *Die geologische Situation der Partnachklamm in einer Blockbilddarstellung: In der Klamm ist der Wambacher Sattel angeschnitten mit steiler Südflanke und flacherer Nordflanke. Der Sattelkern wird von Schichten des mittleren Alpiner Muschelkalks gebildet.*

Bei horizontaler (söhliger) Schichtlagerung folgen die geologischen Grenzen den Höhenlinien, und das Kartenbild ist einfach strukturiert (↗ H10). Diese Situation zeigt sich auf dem Ausschnitt aus der Geologischen Karte von Wassertrüdingen (1:25 .000) wo eine



H13 | Generalisiertes lithostratigraphisches Profil von Teilen des Unteren Keupers in Unterfranken. An der linken Seite des Profils wird das Verwitterungsverhalten der Schichten angedeutet.

Schichtenfolge von der Trias bis zu den Malmkalen an die Oberfläche tritt.

Bei geneigten Schichten wird die im Gelände gemessene Schichtlagerung (Streichen und Fallen) durch Symbole angezeigt (↗ H11). Faltenstrukturen können durch ihre Faltenachse dargestellt werden, die als Sattel- oder Muldenachse gekennzeichnet wird. Ist die Achse nicht horizontal, dann wird die Abtauchrichtung durch einen Pfeil angezeigt.

H14 | Die normale stratigraphische Abfolge mit älteren Schichten unten und jüngeren Schichten oben (links) kann durch Faltung umgedreht werden (rechts).

Eine dreidimensionale Darstellung wird mit einem sogenannten Blockbild ermöglicht (↗ H12). Dieses dient der Verdeutlichung

komplizierter Lagerungsverhältnisse oder geologischer Gegebenheiten.

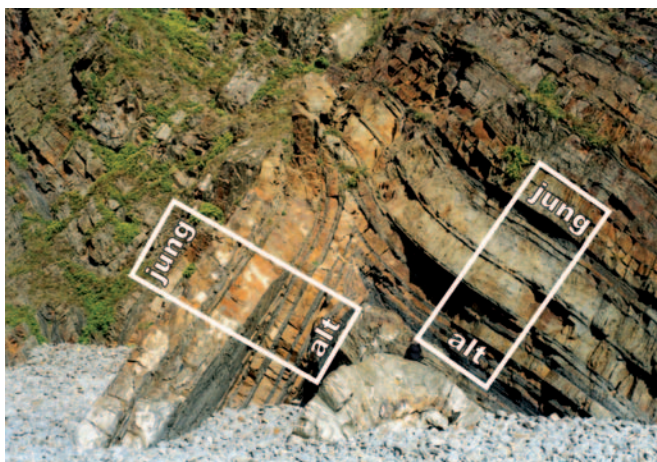
Stratigraphie

Die Schichtenfolge einer geologischen Karte wird in einer sogenannten Stratigraphie zusammengefasst. Diese bildet die Legende der geologischen Karte. Das Grundgesetz der Stratigraphie wurde 1669 von Nikolaus Steno formuliert (▶ Modul G „Wissenschaftsgeschichte“). Es besagt, dass sich bei der Sedimentation eine Sedimentschicht über die andere legt, so dass die jeweils jüngere die ältere überdeckt. Dies ermöglicht eine relative zeitliche Gliederung sedimentärer Schichtfolgen und man erhält eine Abfolge lithologischer Einheiten.

Diese werden bei der Lithostratigraphie zu lithologisch gleichen Gesteinsschichten (z. B. Formationen) zusammengefasst (↗ H13) und bilden die Grundlage für die Erstellung geologischer Karten, da diese Einheiten im Gelände wiederzuerkennen (auskartierbar) sind. Die Schichtenfolge kann als Säulenprofil dargestellt werden, hier können besondere Charakteristika der Gesteinseinheiten wie Internstrukturen oder Verwitterungsverhalten abgebildet werden. Eine Unterbrechung in der kontinuierlichen Schichtenfolge nennt man → Schichtlücke.

Biostratigraphie

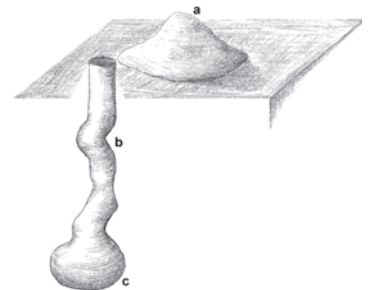
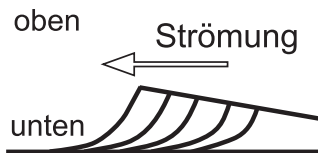
Um 1800 zog der englische Ingenieur William Smith aus seinen Erfahrungen bei Kanalbauten in Mittelengland den Schluss, dass Fossilien in bestimmter Folge im Schichtpro-



fil eingebettet sind (► Modul G „Wissenschaftsgeschichte“). Zudem erkannte er, dass gewisse Fossilien charakteristisch für bestimmte Schichten sind. Er wurde damit zum Begründer der Biostratigraphie, die die in den Fossilien dokumentierte Entwicklung als relative Zeitmarker nutzt. Bedingt durch die Evolution treten bestimmte Fossilien zu einem bestimmten Zeitpunkt erstmals auf, und das Auftreten verschiedener Fossilien bildet charakteristische Abfolgen. Die biostratigraphische Feingliederung (Zonierung) des Kambriums ist z. B. auf die Trilobiten, die

des Juras auf Ammoniten gegründet. Fossilien, die man zur relativen Altersdatierung heranziehen kann, nennt man Leitfossilien (► Modul D „Erdgeschichte“).

Manchmal sind die Gesteine durch die Tektonik verstellt und dabei sogar überkippt. Man braucht daher Kriterien, um festzustellen, wo oben (jung) und unten (alt) ist (↗ H14), die sogenannten Oben-Unten Kriterien oder geopedale Gefüge, wie z. B. Ablagerungsstrukturen oder Spurenfossilien in Sedimentgesteinen (↗ H15).



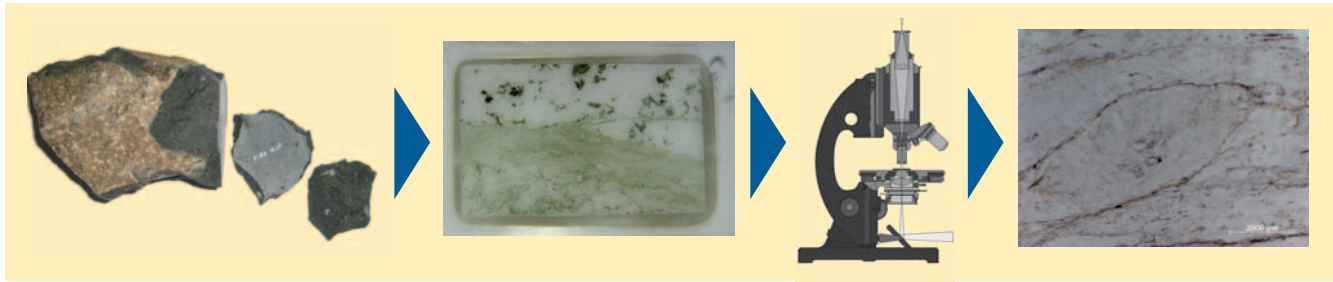
H15 | Oben-Unten-Kriterien: *Links:* Schrägschichtungsgefüge in Sandsteinen. *Rechts:* Spuren von Sedimentbewohnern. Der Wattwurm *Arenicola marina* legt Baue im Schlickwatt an. Diese sind J-förmig (unten links) und das von den Würmern ausgeschiedene Sediment liegt genau über der Öffnung der Wohnröhre. Ein fossiles Beispiel für ähnliche Strukturen zeigt eine Rekonstruktionszeichnung des Spurenfossils *Trusheimichnus franconicus* aus dem oberen Muschelkalk Unterfrankens. *a:* Sedimentkegel neben der Wohnröhre; *b:* unregelmäßig verlaufende zylindrische Röhre; *c:* kugelförmige Kammer.

2 Methoden im Labor

Die im Folgenden aufgeführten Methoden stellen nur eine kleine Auswahl dar und sollen lediglich einen Überblick über einige wichtige laboranalytischen Arbeitsmethoden der Geowissenschaftler geben.

2.1 Die Mikroskopie

Zur Bestimmung der Minerale, ihrer Korngröße und Anordnung im Gesteinsgefüge ist die lichtoptische Mikroskopie die wichtigste Analysemethode. Für die mikroskopische Analyse der lichtdurchlässigen Minerale werden



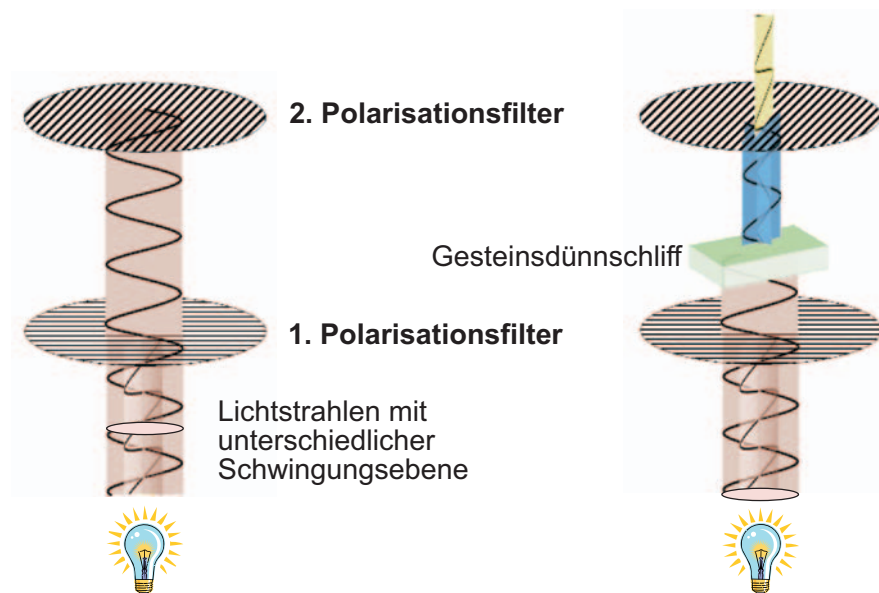
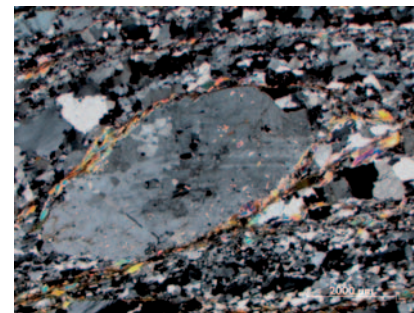
H16 | Ein Gesteinsdünnschliff ist lichtdurchlässig und kann mit dem Lichtstrahl des Mikroskops durchleuchtet werden. Durch die mikroskopische Vergrößerung werden Strukturen im Gestein sichtbar.

aus den Gesteinsproben Stücke herausgesägt und sogenannte Dünnschliffe gemacht (↗ H16). Dabei werden die Minerale so dünn geschliffen (etwa 25 µm), dass sie das Licht durchlassen und durchsichtig werden.

Dieses Präparat wird dann unter einem Mikroskop bei verschiedener Vergrößerung (etwa 10- bis 1.000-fache Vergrößerung) betrachtet. Dazu wird ein sogenannter polari-

sierter Lichtstrahl verwendet. Lichtwellen schwingen normalerweise in allen Ebenen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung, durch einen Filter werden nur die Strahlen einer bestimmten Ebene durchgelassen (polarisiertes Licht). Betrachtet werden die Dünnschliffe in zwei verschiedenen Modi: (i) im einfach polarisierten Licht (↗ H16) und (ii) im doppelt polarisierten Licht (↗ H17). Erstere lässt nur die Strahlen in einer Ebene durch und das

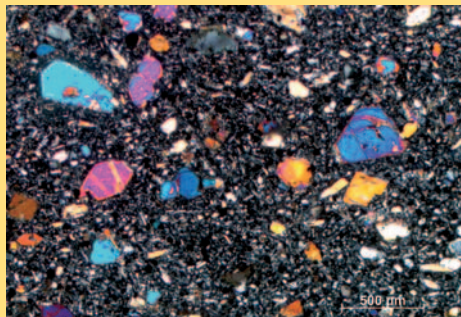
H17 | Prinzip der Lichtpolarisation zur Dünnschliffmikroskopie (doppelt polarisiertes Licht). Mikroskopbild links ohne Dünnschliff, rechts mit Dünnschliff.



Objekt kann in diesem einfach polarisierten Licht betrachtet werden, hierbei gibt jedoch nur eine unterschiedliche Eigenfarbe der Minerale Information. Viele wichtige gesteinsbildende Minerale (► Modul B „Minerale und Gesteine“) wie Quarz und Feldspat zeigen jedoch keine Färbung und sind damit nicht unterscheidbar. Wird das Licht durch zwei Polarisationsfilter geschickt (Modus ii), die in ihrer

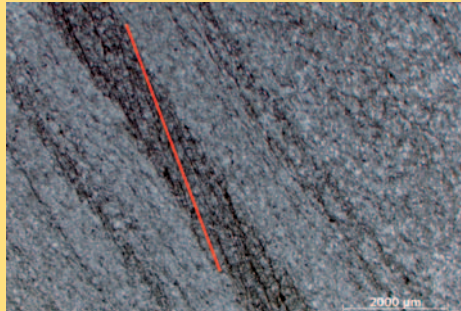
Filterebene senkrecht aufeinander stehen, dann kann es zu einer Lichtbrechung des Strahls in den Kristallen kommen (Doppelbrechung, ► Modul B „Minerale und Gesteine, ↗ Calcit Tab. 1c) und das austretende Licht hat wiederum unterschiedliche Polarisations Ebenen, die durch den zweiten Polarisationsfilter (der sogenannte Analysator) nicht mehr herausgefiltert werden.

Was sieht man im Dünnschliff? Einige Beispiele:



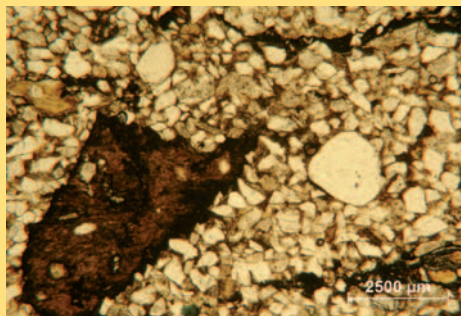
Mineralogische Information:

Olivinkristalle unterschiedlicher Größe (bunte Farben im doppelt polarisierten Licht) in einem Basalt von der Wasserkuppe in der Rhön. Die feinkörnige Matrix besteht aus kleinen Kristallen (z. B. Plagioklas, grau) und Gesteinsglas (schwarz).



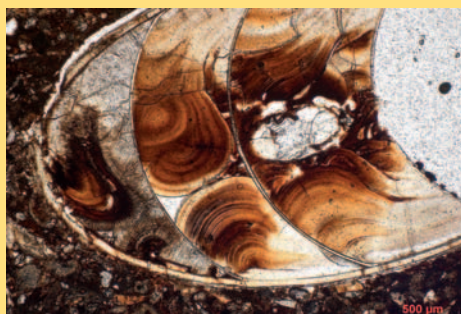
Strukturelle Information:

Sedimentäre Schichtung (hell-dunkel Lagen) und Schieferung (Position markiert durch rote Linie) in den dunklen Tonmineralreichen Lagen eines schwach metamorphen feinschichtigen Gesteins aus dem Schorrgastal bei Wirsberg (Kreis Kulmbach). Aufnahme im einfach polarisierten Licht.



Sedimentologische Information:

Zusammensetzung, Korngröße und Rundungsgrad von Sedimentgesteinen geben Auskunft über Herkunft (Abtragungsgebiet) und Transportweite. Das Bild zeigt einen Sandstein der Clarens Formation, Südafrika (Unterjura) mit einem vulkanischen Bruchstück (in braun) in einer Matrix aus Quarz- und Feldspatkörnern. Aufnahme im einfach polarisierten Licht



Paläontologische Information:

Art und Zusammensetzung des Sediments, des Schalenmaterials von Organismen sowie deren Füllungen geben Informationen über die ehemaligen Ablagerungs- und Lebensbedingungen. Das Bild zeigt asphalt-haltige Verfüllungen (braune lagige Ablagerungen) in den Kammern eines *Orthoceras* (Kopffüßler) aus dem Buckhorn Asphalt Quarry, Karbon, Oklahoma, USA.

Makro – Mikro – Nano

Neben den lichtoptischen Verfahren zur Mikroskopie werden heute in der Forschung höher auflösende Techniken eingesetzt, die eine Beobachtung der Minerale bis in die Gitterstrukturen möglich machen. Statt eines Lichtstrahls arbeitet man hier mit Elektronenstrahlen. Dabei gibt es generell zwei Verfahren, die Rasterelektronenmikroskopie (REM) und die Transmissionselektronenmikrosko-

pie (TEM). Bei der REM wird die Oberfläche der Probe mit einem Elektronenstrahl beschossen und dabei die Rückstrahlung registriert (► Modul D „Erdgeschichte“, ↗ D10). Durch schnelle Bewegung des Elektronenstrahls kann die Probenoberfläche abgescannt werden. Mit diesem Verfahren werden bis zu 100.000fache Vergrößerungen erreicht. Bei der TEM wird eine sehr dünne Probe mit Elek-

tronen durchstrahlt. Bei der Durchstrahlung des Kristallgitters kommt es, wie beim lichtoptischen Verfahren, zu Brechungen des Elektronenstrahls. Mit einem TEM kann man eine Auflösung bis in den Bereich der Gitterabstände zwischen den atomaren Bausteinen des Kristalls (► Modul B „Minerale und Gesteine“), also im Bereich von weniger als einem Nanometer erreichen.

2.2 Die chemische Zusammensetzung des Gesteins

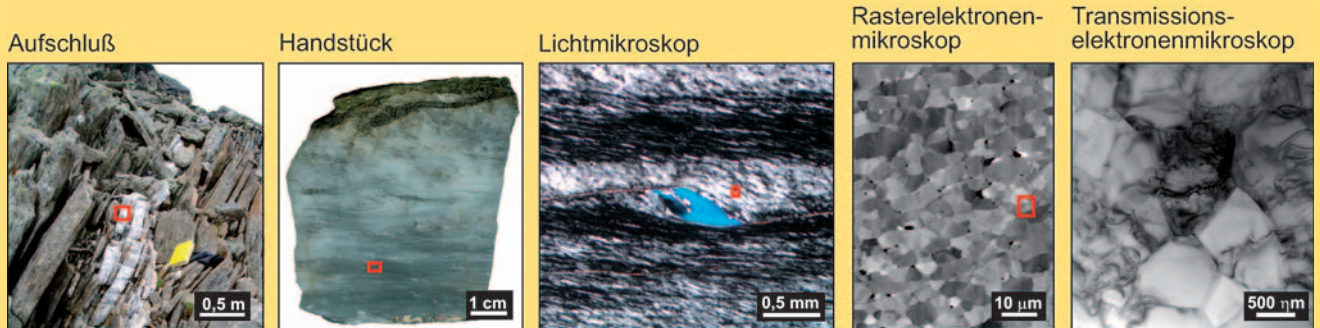
Gesteinsschmelzen variieren in ihrer Zusammensetzung von mafisch bis sauer (► Modul B „Minerale und Gesteine“), was natürlich auch zu einer Variation in ihrer chemischen Zusammensetzung führt. Somit zeigen Granit und Basalt deutliche Unterschiede in den Hauptelementen, wie z. B. im SiO_2 Gehalt, welcher im Granit, oder im FeO-Gehalt, der im Basalt höher liegt (↗ Tabelle H3). Kristallisieren Minerale aus einer Schmelze aus, so bauen sie charakteristische Elemente ein, die die Zusammensetzung der Schmelze reflektieren. Die chemische Analyse ermöglicht eine Klassifizierung der Gesteine, wenn z. B. aufgrund von Feinkörnigkeit oder hohen Glasanteilen eine Klassifizierung über den Mineralbestand nicht möglich ist, wie manchmal in vulkanischen Gesteinen. Bestimmt werden die Hauptelemente als Oxide (in Gewichtsprozent) und Spurenelemente in ppm (parts per million) und mit hochauflösenden Methoden auch im ppb-Bereich (parts per billion).

Die Analysendaten werden in standardisierten Diagrammen, sogenannten Klassifizierungs- und Diskriminierungsdiagrammen, dargestellt. Solche Diagramme sind durch Analyse von Gesteinen bekannter geologischer Herkunft entwickelt worden. Eine der

	Granit	Basalt
Hauptelemente in Gewichts-%		
SiO_2	68,1	41,7
Al_2O_3	15,42	11,21
Fe_2O_3	3,29	12,6
MnO	0,056	0,171
MgO	0,99	10,49
CaO	2,16	12,22
Na_2O	3,25	3,49
K_2O	4,62	0,82
TiO_2	0,565	2,67
P_2O_5	0,24	0,72
Spurenelemente in ppm		
Ce	134	101
Ba	950	680
Pb	48	20
Co	15	54
Cr	43	341
Nb	21	83
Ni	15	292
Sr	205	710
Rb	205	38
V	35	239
Zr	282	272

Tabelle H3 | Vergleich der chemischen Zusammensetzung eines Granits (Leuchtenberger Granit, Oberpfalz) und eines Basalts (Oberteich bei Mitterteich, Oberpfalz).

H18 | Von der Aufschlussprobe zur Feinstruktur: Die Beobachtung eines verformten Quarzganges von der Makro- über die Mikro- zur Nanostruktur. Das rote Feld zeigt jeweils den Ausschnitt für die Darstellung in der nachfolgenden, höher auflösenden Betrachtung.

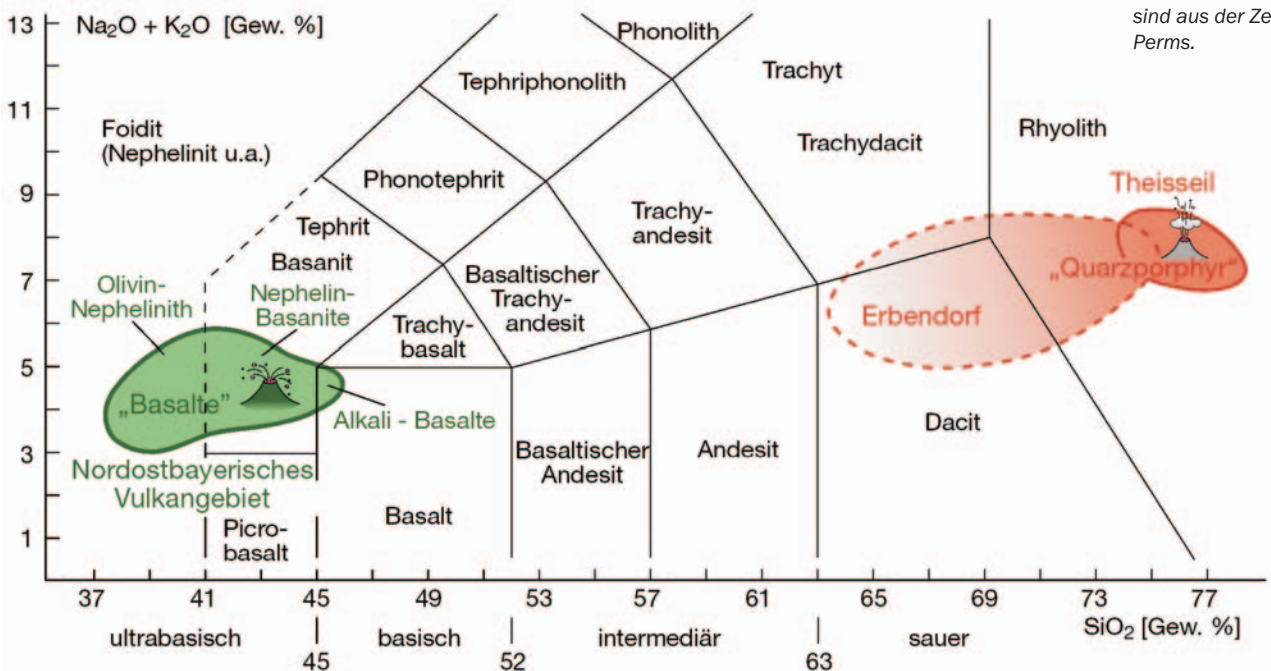


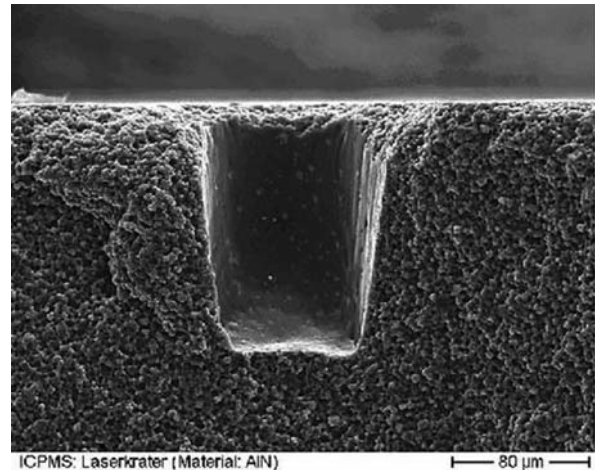
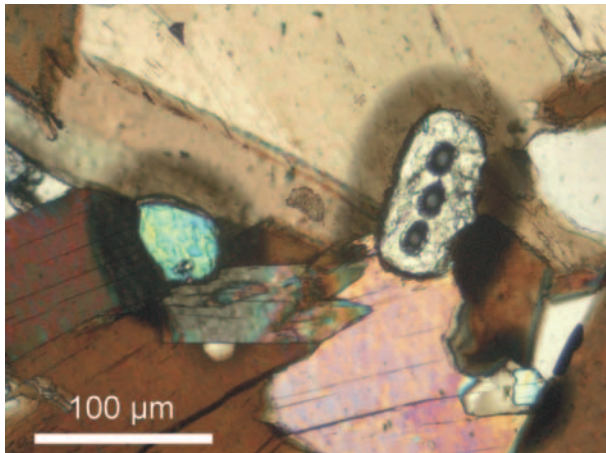
wichtigsten Darstellungen ist das sogenannte TAS-Diagramm, hier wird die Summe der Na_2O - und K_2O -Gehalte in Gewichtsprozenten über die SiO_2 -Gehalte in Gewichtsprozenten gestellt. Die Unterschiede in der Zusammensetzung von feinkörnigen Vulkaniten aus der Oberpfalz werden in dem gezeigten Beispiel (↗ H19) deutlich.

Die chemische Zusammensetzung ist eine wichtige Informationsquelle für Hinweise zur Entstehung des Gesteins (Petrogenese). So haben Basalte, die an einem ozeanischen Rücken entstanden sind, eine andere geo-

chemische Signatur als Basalte, die als Schmelze im oberen Mantel unterhalb der kontinentalen Platten entstanden und dann aufgestiegen sind (▶ Modul B „Minerale und Gesteine“). Granite, die oberhalb einer Subduktionszone liegen, haben eine etwas andere Zusammensetzung als Granite, die im Zuge der Kontinent/Kontinent-Kollision (▶ Modul C „Plattentektonik“) entstehen. Insbesondere die sogenannten Spurenelemente (↗ Tabelle H3) sind hier aussagekräftig, diese geben dem Gestein einen charakteristischen chemischen „Fingerabdruck“. Viele Elemente sind immobil, d. h. sie verbleiben während

H19 | Chemische Zusammensetzung von basischen und sauren Vulkaniten aus Nordost-Bayern. Die unter Basalte zusammengefassten untrabasischen Vulkanite stehen im Zusammenhang mit der Bildung des Egergrabens. Die sauren Vulkanite sind aus der Zeit des Perms.





H20 | Analyse eines Monazitkristalls mit der Lasermethode: Durch den Laserstrahl wird ein Krater von wenigen Mikrometern erzeugt. Im linken Bild sind im Monazit drei Analysekrater zu sehen.

der Metamorphose in den Mineralen und sind daher auch nach einer langen geologischen Vorgeschichte wichtige Zeugen der Entstehungsgeschichte des Gesteins.

Die geochemische Zusammensetzung unterstützt in archäologischen Untersuchungen die Rekonstruktion der früheren Handelswege. So wurde z. B. Bimsstein im gesamten Mittelmeerraum als Schleifmittel eingesetzt. Mit Hilfe des chemischen Fingerabdrucks kann unterschieden werden, von welchem Vulkan die Gesteine stammen.

Es gibt verschiedene Verfahren zur chemischen Analyse, einen Einblick bekommen Schüler im Chemieunterricht. Generell wird bei der chemischen Analyse das Gestein aufgemahlen und das Gesteinsmehl untersucht. Durch die Lasertechnologie ist es heute aber auch möglich, hochauflösende chemische Analysen an Einzelmineralen in Dünnschliffen zu erhalten. Dazu wird die Methode der LA-ICP-MS eingesetzt. Die Abkürzungen stehen für „laser ablation inductively coupled mass spectrometry“. Durch den Laserbeschuss wird Material abgelöst und verdampft (↗ H21). Dieses Gas wird ionisiert und in einem Massenspektrometer auf seine Elementanteile analysiert.

Die Probemenge, die der Laser abträgt, ist derart winzig, dass auf der Oberfläche des Steins keine Schäden erkennbar sind. Damit wird diese Methode auch eingesetzt, um Edelsteine auf ihre Echtheit zu überprüfen. Echte Steinen haben eine charakteristische Ele-

mentverteilung, diese lässt sogar Rückschlüsse auf die geografische Herkunft zu.

2.3 Das Alter des Gesteins

Stratigraphische Methoden (Biostratigraphie, Lithostratigraphie) geben nur Hinweise auf das relative Alter der Gesteinseinheiten. Erst durch die Entdeckung des radioaktiven Zerfalls von Elementen und ihrer Nutzung zur sogenannten radiometrischen Altersdatierung können die absoluten Alter von Gesteinen (Chronostratigraphie) und die Zeitdauer geologischer Prozesse ermittelt werden.

Radiometrische Altersdatierungen basieren auf der Veränderung des Isotopenverhältnisses von Elementen aufgrund des radioaktiven Zerfalls. Ein radioaktives Element (Muttersisotop) zerfällt unter Aussendung von Strahlung in ein anderes Element. Das Grundprinzip der Methodik wird im ↗ Exkurs „Grundlagen der Radiokohlenstoffmethode“ exemplarisch dargestellt.

Verschiedene Zerfallsreihen können in der geologischen Datierung genutzt werden, dabei sind die Halbwertszeiten der radiogenen Isotope ausschlaggebend für den Altersbereich (↗ Tabelle H4). Insbesondere die Uran-Blei-Isotopenanalyse gibt den Forschern die Möglichkeit, auch die Alter präkambrischer Gesteine zu bestimmen, die nicht biostratigraphisch datiert werden können. Weiterhin werden diese Methoden bei magmatischen und metamorphen Gesteinen

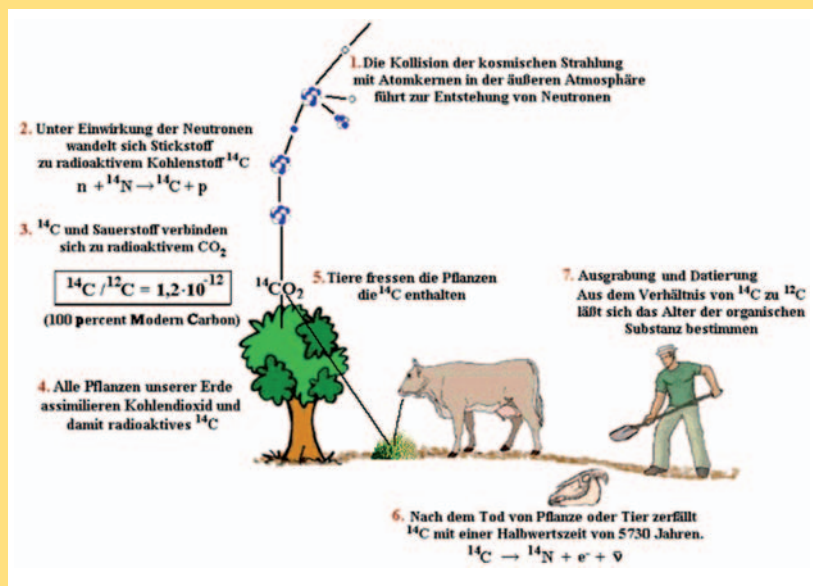
Mutterisotop	Tochterisotop	Halbwertszeit	datierbarer Zeitraum
		in Jahren	in Jahren
Uran-238	Blei-206	4,5 Mrd.	10 Mio. – 4,6 Mrd.
Kalium-40	Argon-40	1,3 Mrd.	50.000 – 4,6 Mrd.
Rubidium-87	Strontium-87	47 Mrd.	100 Mio. – 4,6 Mrd.
Kohlenstoff-14	Stickstoff-14	5730	100 – 10.000
Tritium	Helium	12,7	100

Tabelle H4 | Isotopensysteme für Altersdatierungen.

angewandt. Dazu werden Minerale analysiert, die viel Uran enthalten, wie z. B. Zirkon oder Monazit. Durch den radioaktiven Zerfall wird Strahlung freigesetzt (α -Strahlung), die das Kristallgitter umliegender Minerale schädigt. Die geschädigten Bereiche sind unter dem Mikroskop, da sie lichtundurchlässiger sind, als dunkle Ränder um die strahlenden Minerale sichtbar (\rightarrow H20).

Es sollte jedoch nicht vergessen werden, dass alle absoluten Datierungsmethoden mit einem Fehler behaftet sind, der die analytische Präzision der Methode widerspiegelt. Der Fehlerbereich (Standardabweichung vom Mittelwert) einer Altersdatierung sollte daher immer mit angegeben werden.

Grundlagen der Radiokohlenstoffmethode (^{14}C Methode)



H21 | Prinzip des radioaktiven Zerfalls und Nutzung für die Kohlenstoffdatierung.

In den oberen Schichten der Erdatmosphäre werden durch die kosmische Strahlung Neutronen erzeugt, die durch eine Kernreaktion das Stickstoffisotop ^{14}N in das radioaktive Kohlenstoffisotop ^{14}C umwandeln. Dieses zerfällt mit einer Halb-

wertszeit von 5730 Jahren zurück in ^{14}N . Die Erzeugung und der Zerfall von ^{14}C stehen im Gleichgewicht, so dass das Verhältnis von dem radioaktiven Nuklid ^{14}C zu den stabilen Isotopen ^{12}C und ^{13}C konstant bleibt. Beim Kohlenstoff liegt das Isotopen-

verhältnis von $^{14}\text{C}:^{12}\text{C}$ in der Atmosphäre bei $1,2 \cdot 10^{-12}$. Dieses Verhältnis findet man auch in allen lebenden Organismen, da bei Stoffwechselprozessen alle Isotope eines Elementes in gleichem Maße beteiligt sind. Stirbt der Organismus ab, so findet nur noch der Zerfall des instabilen Isotops nach dem bekannten Zerfallsgesetz statt. Daher kann aus dem heute noch vorhandenen Anteil an ^{14}C auf das Alter der Probe geschlossen werden. Es muss dabei jedoch berücksichtigt werden, dass die atmosphärische ^{14}C -Konzentration Schwankungen unterliegt, die durch Variationen des erdmagnetischen Dipolmoments (Schutzschild gegen kosmische Strahlung, \blacktriangleright Modul A „Planetensystem und Aufbau der Erde“, \rightarrow A17) verursacht sind. Außerdem macht sich der menschliche Einfluss durch die Verbrennung fossiler, nicht ^{14}C -haltiger Brennstoffe, sowie in den frühen 1960er Jahren durch Atombombentests bemerkbar.

Exkurs

Weiterführende Literatur, Links und Karten (Auswahl):

Dixon, D. & Bernor, R. L. 1998. Geologie für Amateure. Einführung in die Wissenschaft von der Erde. Ein praktischer Begleiter für Gesteins- und Mineraliensammler, 159 S., Könnemann Verlag, ISBN 978-3-82900-324-7.

Fischer, H.W. 1999. Naturwissenschaftliches Zeichnen und Illustrieren, 202 S., Beringeria Sonderheft 3, ISSN 0937-0242.

Markel, G. 2004. Minerale und Gesteine, Eigenschaften – Bildung – Untersuchung, 355 S., Spektrum Akademischer Verlag, ISBN 978-3-82741-495-4.

Murawski, H. & Meyer, W. 2004. Geologisches Wörterbuch, 262 S., Spektrum Akademischer Verlag, ISBN 978-3-82741-445-8.

Vinx, R. 2007. Gesteinsbestimmung im Gelände, 472 S., Spektrum Akademischer Verlag, ISBN 978-3-82741-925-5.

Materialien zum Thema System Erde

Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften

▶ www.ipn.uni-kiel.de

Schülerlabor am Helmholtz-Zentrum Potsdam (Deutsches GeoForschungsZentrum)

▶ www.geolab.gfz-potsdam.de

Herausgeber

Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Gesundheit (StMUG)

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB)