



Roland Vinx

# GESTEINE

Dokumente der Erdgeschichte



Ihre Entstehung und Bedeutung für Klima,  
Leben und Landschaft



QUELLE & MEYER

Roland Vinx

# Gesteine

## Dokumente der Erdgeschichte

Ihre Entstehung und Bedeutung  
für Klima, Leben und Landschaft



Quelle & Meyer Verlag Wiebelsheim

## Inhalt

Vorwort und Dank .....	6
Verzeichnis der Abkürzungen und Zeichen .....	7
1 Einleitung .....	8
2 Einige relevante Grundlagen der Geologie und der Gesteinskunde .....	9
3 Entstehung von Gesteinen .....	13
4 Gesteinsbestimmung .....	22
5 Gesteine und Wasser .....	27
6 Beobachtungsmöglichkeiten, Verlust und Schonung von Gesteinsvorkommen .....	29
7 Natursteinverwendung .....	31
8 Gesteinsbildende Minerale .....	33
9 Wichtigste gesteinsbildende Minerale .....	43
10 Gesteinsgruppen .....	67
11 Verwitterung, Alteration .....	72
12 Magmatische Gesteine .....	74
13 Durch Alteration veränderte oder zersetzte Gesteine .....	147
14 Magmatische und sonstige Ganggesteine .....	157
15 Gesteinsbildung an der Erdoberfläche: Sedimentite .....	164
16 Metamorphe Gesteine .....	236
17 Gesteine des Erdmantels .....	278
18 In und an Gesteinen dokumentierte besondere Ereignisse .....	284
19 Literatur .....	303
20 Sachwortregister .....	304

## Vorwort

Gesteine gehören wie Pflanzen und Wildtiere zur natürlichen Umgebung, besonders in Gebirgsregionen und entlang von Felsenküsten. Oft werden sie jedoch als Selbstverständlichkeit empfunden und deshalb kaum beachtet. Selbst unter engagierten Naturschützern stellt sich viel eher Begeisterung ein, wenn ein seltener Vogel zu sehen oder zu hören ist, als wenn ein spektakulärer Findling oder Felsen am Weg aufragt. Während die Schutzbedürftigkeit von Vögeln, Reptilien, Amphibien und Orchideen im allgemeinen Bewusstsein verankert ist, gelten Gesteinsvorkommen eher als „vogelfrei“, z. B. indem „Steinesammler“ von nicht nachwachsendem Felsen an exponierter Stelle Brocken abschlagen.

Die inhaltliche Beschäftigung mit dem Gestein beschränkt sich dann oft auf dessen Bestimmung, d. h.

auf die Namensfindung und die anschließende „Endlagerung“ in einer Vitrine oder als „Schüttgut“. In diesem Buch werden die Namen natürlich auch genannt, und zwar auf aktuellem Stand der Petrografie, aber sie haben lediglich den Rang von Ordnungshilfen. Vor allem aber berichten die jeweiligen Gesteine selbst anhand ihrer Merkmale, Strukturen und Mineralbestände über ihre Geschichte und diese geht so weit, dass es z. B. ohne Kalkstein das Leben auf der Erde nicht geben könnte. In diesem Sinne gehören zum Verstehen von Gesteinen auch deren Wechselwirkungen mit der Atmosphäre und ihre mögliche Prägung durch Massenausbreitung bestimmter Lebewesen ebenso wie durch Phasen von Massenaussterben auf der Erde. Gesteine sind weit mehr als einfach „unbelebte Naturobjekte“. Sie unterliegen Wechselwirkungen mit der belebten Natur.

## Dank

Ohne die bereitwillige Hilfe verschiedener Fachleute, Kollegen, Freunde und Verwandten hätte dieses Buch nicht mit dem endgültigen Inhalt erscheinen können. Dies gilt besonders für die freundliche Überlassung von Fotos und Material. Hierfür danke ich Matthias Bräunlich (Hamburg), Dr. Kay Heyckendorf (Reinbek), Fiona Reiser (Reykjavik) und Hans H. Stühmer (Helgoland). Dr. Stefan Peters (Mineralogisches Museum Hamburg) danke ich für die Möglichkeit eine Gesteinsprobe aus dem Sammlungsbestand fotografieren zu können. Wert-

volle Anregungen und Informationen, für die ich sehr danke, erhielt ich von Matthias Bräunlich und Prof. Dr. J. Schlüter (Westerland/Sylt). Besonders danken möchte ich auch dem Quelle & Meyer Verlag für die Möglichkeit, dieses Buchprojekt zu realisieren. Dies gilt besonders für den Geschäftsführer, Herrn Gerhard Stahl, für das Team des Projektmanagements, vor allem für Frau Svenja Klink und für die Grafikabteilung (Herr Rolf Heisler, Herr Denis Busch und Frau Elena Laarmann).

## Verzeichnis der Abkürzungen und Zeichen

□	= unbesetzte Position im Kristallgitter
Ab	= Albitkomponente in Plagioklas
An	= Anorthitkomponente in Plagioklas
CNMMN	= Commission on New Minerals and Mineral Names
GPa	= Gigapascal (Messgröße für Drücke, 1 GPa entspricht 10 Kilobar)
IMA	= International Mineralogical Association
IUGS	= International Union of Geological Sciences
µm	= Mikrometer (1/1000 Millimeter)
NHN	= Normalhöhennull (entsprechend Meeresspiegelniveau)
SMCR	= Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks

# 1 Einleitung

Die Erde ist ein Gesteinsplanet. Dies bedeutet, dass auch die Erdoberfläche und ebenso der Meeresboden aus felsigen Gesteinen bestehen bzw. aus Ablagerungen, die auf Gesteinsverwitterung zurückgehen und oft auch auf die Tätigkeit von Organismen. Landschaften sind durch die an der Oberfläche auftretenden Gesteine und die daraus entstandenen Bodenarten geprägt. Ab einiger Tiefe gibt es überall festes Felsgestein, selbst unter mächtigen Überdeckungen aus Lockermaterial und am Boden der Ozeane. Gesteine sind die feste Grundlage des Lebens auf der Erde. In diesem Buch geht es darum, Gesteine als den „grundlegenden“ Teilbereich der Natur zu verstehen und ihre Wechselwirkungen mit der Biosphäre, Atmosphäre und Hydrosphäre zu beleuchten. Die Information hierzu steckt in den Gesteinen selbst. Dieses Buch soll helfen, sie „lesbar“ zu machen.

Gesteine begegnen uns als anscheinend schon immer vorhanden gewesene, starre und „leblos“ erscheinende Objekte. Im Gegensatz zu Tieren, Pflanzen, Gewässern und Wolken lässt sich ihre Dynamik gewöhnlich nicht „in Aktion“ beobachten. Trotzdem müssen sie irgendwann und irgendwie entstanden sein und tatsächlich

stecken sie voller Überlieferungen über ihre Geschichte und die der Erde. Hier steht nicht die Benennung und Bestimmung möglichst vieler Gesteine im Zentrum. Viel bedeutender sind die Prozesse, die die Vielfalt der gewöhnlichen Gesteine bewirkt haben. Die meist vor unvorstellbar lange zurückliegenden Zeiten stattgefundenen Gesteinsentstehung wird durch normale Gesteinsgefüge und Mineralbestände abgebildet. Diese „eigenen Berichte der Gesteine“ werden mithilfe dieses Buchs „lesbar“. Tatsächlich kommen Gesteine ihrer „Berichtspflicht“ sehr sorgfältig nach.

Die Entstehung der meisten Gesteine findet im Rahmen einer Zeitskala statt, die weit über unsere gewohnten Beobachtungszeiträume hinausreicht. Weil fast alle gegenwärtig existierenden Gesteine viele Millionen oder sogar ein bis mehrere Milliarden Jahre alt sind, erfordert dies, dass (wie überhaupt in der Geologie) ganz selbstverständlich in solchen Zeiträumen gerechnet wird. Bei der Beschäftigung mit Gesteinen und der Geologie gelten Zeitmaßstäbe, die außerhalb der alltäglichen Erfahrung liegen, an die man sich aber gewöhnen kann. Davon unabhängig gelten und galten für die Ent-



Abb. 1: Steine, so wie hier am Ostseestrand, können bunt sein und oft auch schön. Dies ist der Grund, dass man sich am Strand wie von selbst nach den Steinen bückt. Jedes Gestein hat ein Alter oder auch mehrere. So kann ein Gneis im Zuge einer Gebirgsbildung vor 1,8 Milliarden Jahren bei hohen Temperaturen aus einem ehemaligen Tonstein entstanden sein. Zwischen der Ablagerung als Tonschlamm und der schließlichen Umwandlung (Metamorphose) zu „felsenfestem“ Gneis können viele Jahrtausende liegen. Gewöhnlich interessiert vor allem das Alter der endgültigen Prägung des Gesteins, d. h. die Erlangung des beobachtbaren Zustands. Die auf den Steinen im Foto angegebenen Zahlen zeigen diese Alter in Jahrtausenden an. Oft liegen nur kurze Zeiträume (nach geologischen Zeitmaßstäben) zwischen den einzelnen Phasen der Gesteinsbildung, wie z. B. der Ablagerung von Ton durch Wasser (Abb. 7), der Verfestigung zu Tonstein (Abb. 256) durch anhaltende Sedimentüberlagerung oder der Umwandlung in Tonschiefer (Abb. 340, Abb. 357) durch mäßige Erwärmung und gerichteten Druck, der sich in Form von Gesteinsfaltung ausgewirkt haben kann. Zum Abschluss kann Versenkung in große Tiefen der Erdkruste, verbunden mit einer Temperaturzunahme bis über 500 °C, eine völlige Umgestaltung zu Gneis bewirkt haben (Abb. 364, Abb. 400). Ohne geologische Erfahrung lässt sich

einem Gneis wie dem der Abb. 364 nicht ansehen, dass seine Entwicklung vor langer Zeit in Form von weichem Ton begonnen hatte. Die Formgebung der individuellen Steine liegt naturgemäß sehr viel näher an der Gegenwart als die Bildung der Gesteine, aus denen sie im festen Felsverband bestehen. Die abgebildeten Steine stammen aus einem Radius von ca. 100 m um den Aufnahmeort am Ostseestrand am Steilufer von Wangels westlich von Oldenburg/Holstein. Sie sind von eiszeitlichem Inlandeis abgelagerte Glazialgeschiebe, die ein riesiges Einzugsgebiet mit verschiedensten Gesteinsarten und Gesteinsaltern repräsentieren. Die petrografische Einordnung der gleichen Steine zeigt Abb. 10.

stehung der Gesteine die Gesetze der Physik und Chemie genauso wie heute. Das macht die vielen Möglichkeiten der Gesteinsentstehung plausibel. Gesteine sind die feste Basis der uns umgebenden Natur. Ähnlich wie astronomische Objekte lassen sie uns mit „Ewigkeiten“ in Berührung kommen.

Granite, Kalksteine, Schiefer und alle anderen Gesteine sind die Ergebnisse von Ereignisfolgen und Prozessen, die nur ausnahmsweise an der Erdoberfläche stattfinden, jedoch meistens kilometertief im Untergrund. Gesteine speichern Informationen aus ihrer Entstehungszeit und Entstehungstiefe. In diesem Buch sollen sie vorrangig als geschichtliche Dokumente verstanden werden, ohne dass es ein weiteres Gesteinsbestimmungsbuch sein soll. Spannender als die Klassifikation als z. B. Granit, Kalkstein, Rhyolith oder „Melaphyrmandelstein“, d. h. als die schlichte Namensfindung, sind die in Gesteinen enthaltenen Informationen. Hierbei ist es allerdings von Vorteil, einigermaßen mit wichtigen Gesteinsnamen vertraut zu sein. Dies erleichtert das Verstehen von Zusammenhängen, die kaum im allgemeinen Bewusstsein sind. Gesteine lernt man eher nicht in der Schule kennen, sondern sehr viel mehr bei der Begegnung mit ihnen. Kenntnisse der wichtigen Gesteine ergeben sich dann eher nebenbei. Über 400 ausführlich erläuterte Fotos stellen wichtige Gesteine vor.

In diesem Buch soll verdeutlicht werden, „wie Gesteine ticken“ und welche Bedeutung sie für uns haben. Dazu gehören u. a.: Stoffaustausch zwischen Atmosphäre und Erdkruste (Kalkstein), Entstehung von Basaltmagma im Erdmantel (Teilaufschmelzung und Rückstände), Auswirkungen einer Klimakatastrophe mit Massenaussterben (besondere Kalkgesteine in der frühen Trias), das „Märchen“ vom „Kreislauf der Gesteine“, warum es so viele verschiedene Granite gibt sowie Granit als Ursache der „Unsinkbarkeit“ der Kontinente. Zahlreiche Abbildungs-Querverweise machen auf Zusammenhänge aufmerksam.

Gesteine stehen in engem Zusammenhang mit der Geologie ihrer Vorkommen. Deshalb sollen hier einige geologische Fachbegriffe erläutert werden, die für das Verständnis von Gesteinen relevant sind. Dies bedeutet nicht, dass hier in größerem Umfang geologische und petrografische (gesteinskundliche) Grundkenntnisse vermittelt werden sollen. Hierfür gibt es systematisch aufgebaute Lehrbücher. In diesem Buch soll es eher darum gehen, individuelle Gesteine als Dokumente der Erdgeschichte zu verstehen.

## 2 Einige relevante Grundlagen der Geologie und der Gesteinskunde

Als **Grundgebirge** wird der von frühen Gebirgsbildungen geprägte Gesteinssockel unter einer Überdeckung aus flächenhaft überlagernden jüngeren Sedimentgesteinen mit oder ohne vulkanische Anteile bezeichnet. Die Überdeckung kann auch abgetragen sein und daher fehlen. In diesem Fall liegt das Grundgebirge frei. Dessen Gesteine sind dadurch gekennzeichnet, dass sie zeitweise hohen Temperaturen, in manchen Fällen bis hin zur teilweisen Aufschmelzung, und oft auch hohen Drücken ausgesetzt waren. Mit Gebirgsbildung verbundener gerichteter Druck kann durch Anzeichen von Gesteinsdeformation dokumentiert sein. Massive aus vor allem Graniten und anderen magmatischen Tiefengesteinen bilden Anteile des Grundgebirges. In Deutschland erreicht Grundgebirge die Erdoberfläche in Mittelgebirgen wie dem Harz, Erzgebirge, Schwarzwald und Bayerischen Wald.

**Deckgebirge** kann in Form kaum oder nicht deformierter Sedimentgesteine, gewöhnlich in Form einer Abfolge von Schichten, das Grundgebirge überlagern. Diese sedimentären Schichten des Deckgebirges sind wegen „Verspätung“ nicht von den mit Gebirgsbildungen verbundenen Vorgängen betroffen gewesen, wie hohen Temperaturen, hohen Drücken und/oder interner Deformation. Die Ablagerung der Schichten des Deckgebirges ist immer zeitlich nach der letzten Gebirgsbildung erfolgt, von der das regionale Grundgebirge betroffen worden ist. Deckgebirgslandschaften in Deutschland sind das Süddeutsche Stufenland, das Weserbergland, das Münsterland, das Elbsandsteingebirge, der Pfälzer Wald und das Nahebergland.



Abb. 2: Frei zutage tretendes Grundgebirge: Intern deformierter Gneis ohne sedimentäre Überlagerung an der Kattegatküste in Halland, Südwestschweden. Die letzte Orogenese, die die Gesteine geprägt hat, hat vor 1,0 Milliarden Jahren stattgefunden. Zu den Spuren gehört die in Betrachtungsrichtung verlaufende parallele Einregelung der verschiedenen sichtbaren Inhomogenitäten. Stensjöstrand, Halland, Südwestschweden.



Abb. 3: Deckgebirge in Form plattig geschichteten Kalksteins des Ordoviziums an der Westküste der Insel Öland. Die Ebene der Schichtung ist nahezu waagrecht orientiert. Tiefere Deckgebirgsschichten des Ordoviziums und darunter des Kambriums bilden den Meeresboden des Kalmarsunds, in dem gerade mäßiger Seegang herrscht. Das unterlagernde Grundgebirge zeigt sich in der Ferne in Form der aus proterozoischem Granit (Abb. 94) bestehenden Insel Blå Jungfrun, die im rechten Bildteil als Härtling aus dem Kalmarsund aufragt. Sie bildet eine Emporwölbung des sonst weitgehend ebenflächigen Grundgebirges, das die Landoberfläche im smäländischen Festland am im Foto nicht sichtbaren Westufer des Kalmarsunds bildet. Nördliches Öland nahe des Ortes Byxelkrok.



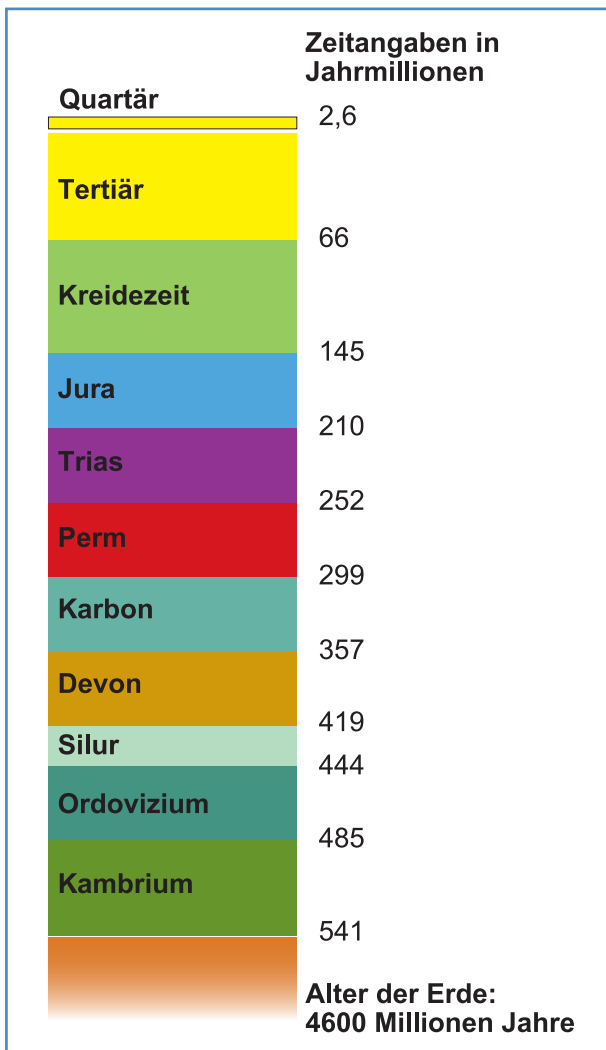


Abb. 4: Geologische Zeitskala als Überblick über die Erdgeschichte. Viele der in diesem Buch behandelten Gesteine stammen aus der Zeit vor dem Beginn der oft nur für sich dargestellten „klassischen“ Erdgeschichte, deren Beginn mit dem Kambrium angesetzt wird. Diese Beschränkung auf die jüngsten ca. 10 % der Erdgeschichte hat darin ihren Grund, dass erst ab der „Kambrischen Explosion“ des Lebens die kontinuierliche Überlieferung des Lebens auf der Erde in Form von Fossilien einsetzt, die den heute noch existierenden Tierstämmen zugeordnet werden können.

**Proterozoikum** heißt der zwischen dem Archaikum und dem Kambrium liegende Zeitabschnitt der Erdgeschichte zwischen 2,5 Milliarden Jahren vor heute bis zum Beginn des Kambriums vor 540 Millionen Jahren.

Als **Orogene** werden durch Gebirgsbildungen (Orogenesen) geformte regionale geologische Einheiten bezeichnet. Sie sind Produkte plattentektonischer Kollisionen. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass ihr Gesteinsbestand gefaltet oder von großräumigen Schubdecken erfasst ist. Je nach Position innerhalb des jeweiligen

Orogens können die Gesteine durch hohe Temperaturen und auch große Drücke metamorph verändert sein. Magmatische Gesteine wie z. B. Granite oder Gabbros treten zusätzlich auf. In großflächiger Verbreitung sind metamorphe Gesteine wie Gneise und Glimmerschiefer an der Gebirgszusammensetzung beteiligt. Hochgebirge sind der ursprüngliche morphologische Ausdruck von Orogenen. Durch langanhaltende Abtragung werden Orogene bis auf ihre Wurzeln eingeebnet, um dann zu Grundgebirge zu werden. Auch im abgetragenen, eingeebneten Zustand bleiben Orogene als solche bestehen. Statt Hochgebirgen bilden sie dann eingeebnete Rumpfflächen wie z. B. der Baltische Schild, der die nicht gebirgigen Regionen Schwedens und Finnlands ausmacht. In Deutschland nimmt die weitgehend von jüngeren Sedimentgesteinen überdeckte Rumpffläche des Variszischen Orogens große Flächen ein. Ohne Überdeckung tritt das variszische Grundgebirge z. B. im Harz, im Rheinischen Schiefergebirge, im Bayerischen Wald, im Schwarzwald, im Erzgebirge und im Fichtelgebirge zutage.

**Subduktion** findet im Zuge der Bewegungen der globalen Platten (Plattentektonik) als Ausgleich zur Bildung neuer Krustenstreifen an den Mittelozeanischen Rücken statt. Subduktion besteht darin, dass ozeanische Kruste unter die Kruste einer angrenzenden Platte bis in Tiefen des Erdmantels abtaucht. Hierbei kommt es auf die Dichtereaktionen der beteiligten Platten bzw. Gesteine untereinander an. So hat kontinentale Kruste mit ihrem Gesteinsbestand aus z. B. Granit, Gneis und Sedimentgesteinen eine relativ geringe Dichte. Dies bewirkt, dass kontinentale Kruste weitgehend „unsinkbar“ ist. Sie lässt sich daher anders als die überwiegend basaltisch zusammengesetzte ozeanische Kruste nicht einfach subduzieren. Basaltische, ozeanische Kruste hat fern des nächsten mittelozeanischen Rückens auch aufgrund fortgeschrittener Abkühlung und wegen der damit verbundenen thermischen Kontraktion eine vergleichsweise hohe Dichte. Daher ist kühle ozeanische Kruste das üblicherweise subduzierte Material. Ein zusätzlicher subduktionsbegünstigender Effekt ist die im Zuge der Subduktion, Absenkung und Druckerhöhung in der Tiefe stattfindende Metamorphose (Umwandlung) basaltischen Materials in das Hochdruckgestein Eklogit (Abb. 386, Abb. 388), das eine besonders hohe Dichte hat. Hierdurch besteht eine Tendenz zum aktiven gravitativen Einsinken der subduzierten Platte in den Erdmantel. Bei der Subduktion gelangt ozeanische Lithosphäre (ozeanische Kruste plus Erdmantelanteil der Lithosphäre, aus festem Gestein bestehend) in den Bereich der Asthenosphäre (Erdmantelbereich mit erhöhter Temperatur, geringem Schmelzanteil und dadurch guter Beweglichkeit).



Abb. 5: Orogenlandschaft: Zentralalpen. Nach dem durch platten-tektonischen Zusammenschub angelegten Deckenbau unterliegen die aus größerer Krustentiefe aufgestiegenen Gesteine der Heraushebung und Abtragung. Die im Vorder- bis Mittelgrund sich erstreckende, schroffe Bergkette besteht aus Gneis. Aufgrund der unausgeglichenen Morphologie und der Einwirkung von Frost, Eis, Sonne und Wasser wird der massive Gneis zerlegt und abtransportiert, bis das Gebirge in ferner Zukunft weitgehend eingeebnet sein wird. Ötztaler Alpen bei Sölden, Tirol.

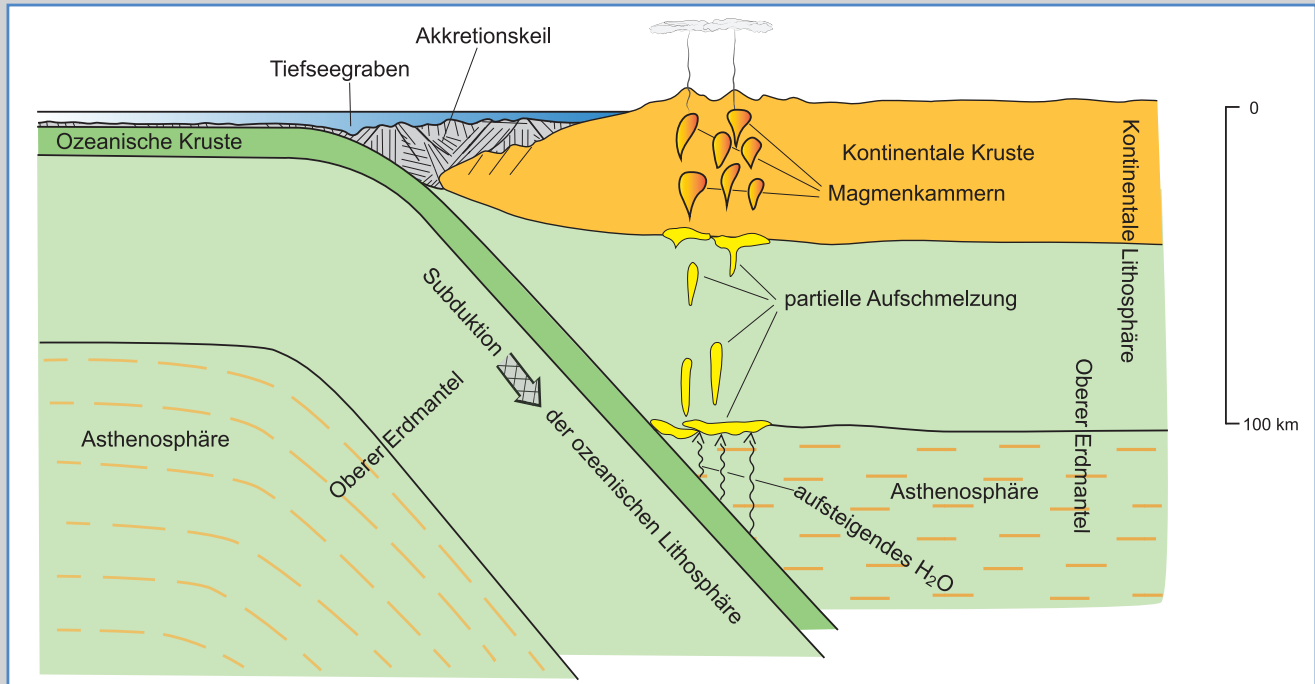


Abb. 6: Schemaskizze: Subduktion von ozeanischer Lithosphäre unter einen aktiven Kontinentalrand. Hierbei wird hydratisierte, basaltische ozeanische Kruste in Bereiche so hoher Temperatur verfrachtet, dass OH-haltige Minerale wie Chlorit, Amphibol und Epidot instabil werden und  $H_2O$  abgeben. Dieses begünstigt durch Schmelzpunktniedrigung partielle Aufschmelzung im Oberen Erdmantel. Bis an die Untergrenze der Kontinentalen Kruste aufsteigendes Magma führt dort durch seine hohe Temperatur wiederum zu partieller Aufschmelzung, bei der granitische Magmen aufgrund geringster Teilschmelztemperaturen gegenüber z. B. dioritischen, granodioritischen und monzonitischen Magmen begünstigt sind. Hierbei können sich Magmenmengen von vielen Kubikkilometern Volumen ansammeln, die aufgrund relativ geringer Dichte zum Aufsteigen neigen.

### 3 Entstehung von Gesteinen

Gesteinsbildung findet zum größten Anteil verborgen in der Tiefe im Untergrund statt oder auch unter Meeresbedeckung. Ausnahmen der beobachtbaren Entstehung fester Gesteine sind Vulkanausbrüche (Abb. 142). Ebenso kann die Ablagerung von Lockermaterial wie Sand, Kies und Ton, der man an Küsten und an Flussläufen zu sehen kann, am Beginn von Gesteinsentstehung stehen, wenn das Sediment nicht schnell wieder abgetragen wird. Besonders im Wattenmeer erfolgt ein ständiger Wechsel zwischen Ablagerung und Erosion. Unter Überlagerung durch weiteres Sediment kann diese Dynamik zum Stillstand kommen. Wenn die Sedimente schließlich durch mächtige Überdeckung fixiert sind, können sie durch Kompaktion, Entwässerung und Kristallisation von Bindemittel schließlich zu festen Gesteinen „ausreifen“.

Viele Gesteine können nur unbeobachtbar in großer Tiefe entstehen. Um ihnen begegnen zu können, müssen sie herausgehoben werden und ihre ursprüngliche Überdeckung abgetragen sein. Dies betrifft z. B. auch massenhaft vorkommende Gesteine wie Gneis.

Abb. 8: In der Geologie ist es üblich, aus den Spuren gesteinsbildender Prozesse auf die Art der Gesteinsbildung zu schließen. Im Foto ein einfaches Beispiel einer offensichtlich erst kürzlich erfolgten Gesteinsentstehung an der Erdoberfläche: Vollständig erhalten gebliebene vulkanische Oberflächenformen belegen die erst vor kurzer Zeit stattgefundenene Entstehung von basaltischem Gestein. Aus dem im Vordergrund offen endenden Lavatunnel ist Basaltlava ausgeflossen, die nach ihrer Abkühlung und Erstarrung noch unveränderte Fließwülste zeigt. Malpais de Güimar, Teneriffa.



Abb. 7: Frühzeit möglicher Gesteinsbildung: Mit Sedimentpartikeln beladenes und daher trübes Wasser kann die Entstehung von Gestein einleiten. Als Schwebfracht transportierte Tontrübe „verschmutzt“ das Wasser (hier der Elbe) zum Zeitpunkt der Fotoaufnahme so stark, dass schon in wenigen Metern Wassertiefe Dunkelheit herrscht. Der besonders hohe Gehalt an Tontrübe rührt daher, dass bei starkem Wind und Wellenschlag der Wasserstand tidebedingt ansteigt und dabei große Schlickflächen sukzessive überflutet. Im ansteigenden und bewegten Wasser unterliegen diese der Aufschwemmung. Mit dem Niedersinken und damit Absedimentieren der Massen von mikroskopisch kleinen Tonpartikeln und sonstigen Schlammkomponenten würde sich am Boden des Tidegewässers Schlick ansammeln. Dies wird in der stark strömenden und laufend ausgebaggerten Schifffahrtsstraße Elbe jedoch verhindert. Außerhalb der Schifffahrtsfahrrinne kommt es zur Sedimentablagerung, wie sich im bei auflaufendem Wasser aufgenommenen Foto wenige Stunden vor Tidehochwasser in Gestalt der Wattfläche zeigt. Diese besteht aus einem Feinsand-Ton-Gemisch, das den sich dort regelmäßig ausruhenden Seehunden eine genügend feste Rastfläche bietet. Das Niederelbegebiet ist seit dem Paläozoikum Teil eines großen Senkungs- und Sedimentationsbeckens, in dem eine viele Kilometer mächtige Sedimentabfolge den Untergrund bildet. Die Sedimentation von Tonschlamm würde von Natur aus bei Sturmfluten großflächig stattfinden. Sie würde, wenn

sie nicht durch Eindeichung künstlich verhindert wäre, die aktuelle Landsenkung kompensieren und hierbei potenziell die Möglichkeit zur Bildung von Sediment bzw. Sedimentgestein ermöglichen: Marschenton und Tonstein. Durch metamorphe Umkristallisation könnten schließlich Tonschiefer, Phyllit, Glimmerschiefer und Gneis entstehen, falls es irgendwann zu einer Gebirgsbildung kommen sollte. Zuletzt war das heutige Niederelbegebiet im Silur Teil eines Orogens (Norddeutsch-Polnische Kaledoniden), dessen Rumpf so tief liegt, dass er in der Region noch nicht erbohrt worden ist. Wattfläche Brammer Bank vor dem linken (niedersächsischen) Elbufer bei Wischhafen, Landkreis Stade.

## 3.1 Gesteinsgruppen

Es ist grundsätzlich problematisch bis unzulässig, eine Klassifikation auf Deutungen zu stützen statt auf objektiv beobachtbare oder messbare Merkmale. Dennoch gründet die übergeordnete Grobeinteilung der Gesteine traditionell auf die Arten ihrer Entstehung: Sedimentgesteine, magmatische Gesteine, metamorphe Gesteine. Als Sonderfälle kommen Gesteine des Erdmantels hinzu, die lokal oder regional die Erdoberfläche erreichen. Die Gruppeneinordnungen sind nur über Folgerungen aus selektiv zu beachtenden Merkmalen und der Art des Vorkommens der jeweiligen Gesteine erschließbar. Es gibt nicht so etwas wie ein übergeordnetes, immer vorhandenes Merkmal für Sedimentgesteine, für magmatische Gesteine, für metamorphe Gesteine oder für Gesteine des Oberen Erdmantels. Es gilt Ähnliches wie bezüglich der Vermeidung des Einsammelns giftiger Pilze. Der einzig zuverlässige Schutz ist ausreichende Artenkenntnis. Im konkreten Einzelfall ist die Einordnung eines Gesteins in eine der großen Gruppen am sichersten erst dann möglich, wenn die Gesteinsart erkannt worden ist.

**Sedimentite** (Sedimentgesteine) entstehen durch Ablagerung (Sedimentation) von Material, das bei der Verwitterung von zuvor vorhanden gewesenen Gesteinen bereitgestellt worden ist. Zusätzlich ist für die Sedimentation ein Transport, also eine Umlagerung des Verwitterungsmaterials, erforderlich. Anderenfalls bilden die *in situ* verbliebenen Verwitterungsprodukte mit oder ohne einen zusätzlichen humosen Anteil einen Boden. Der Sedimenttransport kann in Wasser je nach Strömungsgeschwindigkeit in Form grober Gerölle (> 63 mm), als Kieskörner (2 – 63 mm), als Sandkörner (0,063 – 2 mm) oder als Schwebfracht als Schluff- und Tonfraktion (0,002 – 0,063 mm bzw. < 0,002 mm) erfolgen. Zusätzlich werden Ionen vor allem des Kaliums, Natriums und Kalziums im Wasser gelöst und ins Meer oder in kontinentale Ablagerungsbecken verfrachtet. Alle so durch Verwitterung bereitgestellten und durch Wasser und z. T. auch durch Wind verfrachteten Verwitterungsprodukte können abgelagert werden und Sedimentgesteine bilden. Häufig erfolgt der Transport mehrphasig. Dies bedeutet, dass es nach zeitweiliger Unterbringung in Sedimentgestein nach dessen Verwitterung erneut zur Abtragung und zu Umlagerung kommt.

Nach der (vorläufig) zuletzt erfolgten Ablagerung von Sediment jeglicher Art kommt es zu Veränderungen aufgrund von Überlagerungsdruck, Entwässerung und Neubildung von Mineralen im Kornzwischenraum. Die genannten Prozesse werden als **Diagenese** zusammengefasst. Durch Diagenese entsteht aus einem zunächst

losen Sediment ein verfestigtes, im Extremfall felsfestes Gestein. Hierbei gibt es eine nicht einheitlich festgelegte Temperaturgrenze bei 150 °C, oberhalb derer der Temperaturbereich niedrigstgradiger Metamorphose angesetzt wird.

**Magmatite** (magmatische Gesteine) haben die Existenz von heißem Magma zur Voraussetzung. Magmatite entstehen durch Abkühlung und Erstarrung von Magmen. In der Regel kristallisieren diese hierbei aus. Wenn dies in einigen Kilometern Tiefe geschieht, wird ein **Plutonit** (Tiefengestein) gebildet. Durch Ausfließen von Lava an der Erdoberfläche entstehen **Vulkanite**. Erstarrung in geringer Tiefe unter der Erdoberfläche führt zu **Ganggesteinen** bzw. **Subvulkaniten**. Ganggesteine sind plattenförmig auftretende Magmatite, deren Ursprungsmagmen Spalten in festem Nebengestein ausgefüllt haben. Am Ende sind Magmatite aus den Kristallen mehrerer Mineralarten zusammengesetzte Gesteine, abgesehen von der möglichen Beteiligung von nicht kristallisiertem vulkanischem Glas. **Magma** ist ein heißes, fließfähiges System aus flüssiger Gesteinschmelze, darin eingebetteten Kristallen und mit in der Schmelze gelösten Fluiden, die als Gase entmisch werden können. In seltenen Fällen fehlen in Magmen die eingebetteten Kristalle. Gewöhnlich sind sie jedoch in Magmen enthalten. Entweder sind sie früh aus der Schmelze auskristallisiert oder bei der Entstehung der Schmelze aus dem partiell aufgeschmolzenen Ausgangsmaterial übriggeblieben. Magmen sind die Produkte der teilweisen Aufschmelzung von festem Material der tieferen Erdkruste oder des Oberen Erdmantels, ausgelöst durch Temperaturerhöhung und/oder Schmelzpunktniedrigung unter Zufuhr von fluider Phase, vor allem von H<sub>2</sub>O. Bei der Bildung eines Magmas bleibt ein komplementärer Restbestand aus schwer schmelzbaren Komponenten des Ausgangsmaterials am Ort der Aufschmelzung zurück. Der leichter schmelzbare Anteil hingegen bildet den Schmelzanteil des Magmas. Dieses enthält bevorzugt chemische Elemente mit relativ geringem Atomgewicht. Zusätzlich bewirken die hohe Temperatur und die nicht kristalline Struktur der Schmelze eine relativ geringe Dichte. Hierdurch neigt das Magma zum Aufstieg, wenn sich ihm die Gelegenheit bietet. Für dünnflüssige, vor allem basaltische Magmen reichen enge Spalten, wie sie bei tektonischer Dehnung entstehen können. Zähflüssige Magmen wie die von Graniten steigen durch ihren eigenen Auftrieb ballonartig auf, wenn sie sich zu großen Volumen gesammelt haben und das überdeckende Gestein aktiv anheben oder verdrängen. Hierbei kann es am unmittelbaren Magmenkontakt auch zu kleinräumiger Aufschmelzung kommen.



Abb. 9: Beispielgegenüberstellung eines Metamorphits mit einer in diesem Fall in Betracht kommenden Art eines zugehörigen Edukts: Sillimanit-führender Granat-Cordieritgneis (rechts) und Grauwacke (links). Beide Gesteine sind Al-reich und Ca-arm. Die als Edukt-Musterbeispiel eingesetzte Grauwacke ist reich an toniger und damit Al-reicher Matrix, der Gneis ist durch einen Al-führenden Mineralbestand geprägt. Sowohl Cordierit (dunkelgrau,  $(Mg,Fe)_2Al_4Si_5O_{18}$ ) als auch Granat (rot,  $(Fe,Mg)_3Al_2Si_3O_{12}$ ) und Sillimanit (weiß,  $Al_2SiO_5$ ) zeigen eine Beteiligung von reichlich Aluminium an. Auch der ebenfalls im Gneis enthaltene Kalifeldspat  $KAlSi_3O_8$  ist zu seiner Bildung auf Aluminium angewiesen. Es gibt kein magmatisches Gestein, das als Edukt die chemischen Voraussetzungen zur Entstehung des abgebildeten, Al-reichen Gneises erfüllen würde. Die beiden einander gegenübergestellten Gesteine verdeutlichen, welche erheblichen Gesteinsveränderungen durch eine Metamorphose bei praktisch unverändert bleibender chemischer Zusammensetzung bewirkt werden können. Für den Granat-Cordieritgneis hat die Metamorphose bei einer Temperatur von bis ca. 750 °C stattgefunden. Außer der Neubildung von Mineralen ist es obendrein zur partiellen Aufschmelzung gekommen. Diese wird durch hellgraue Quarz-Feldspat-Schlieren angezeigt, die die vorübergehende Existenz geringer Mengen von granitisch zusammengesetzter Teilschmelze repräsentieren. Der Gneis ist daher als migmatitisch einzustufen (Abb. 367 – 370). Der abgebildete Gneis ist aus einem sedimentären Edukt entstanden und ist daher ein Paragneis. Die sedimentäre Vorgeschichte ergibt sich aus der chemischen Zusammensetzung des Gneises, die durch mehrere Al-reiche Minerale angezeigt wird. Nur im Zuge von Verwitterung und Sedimentation, nicht aber durch magmatische Differentiation kann Aluminium so stark angereichert werden, wie dies in Tongesteinen der Fall ist. Die Grauwacke ist unterkarbonischen Alters. Sie stammt aus dem Westharz (Flussgeröll der Innerste bei Lautenthal), der migmatitische Granat-Cordieritgneis ist ein Glazialgeschiebe vom Ostseesteilufer Klütz Höved in Nordwestmecklenburg mit Originalherkunft aus Södermanland in Südschweden: ca. 1,8 Milliarden Jahre alter Sörmlandgneis (Abb. 364).

**Metamorphite** (metamorphe Gesteine) entstehen durch Metamorphose aus vorher sedimentären oder magmatischen Ausgangsgesteinen oder aus Metamorphiten von anderem Metamorphosegrad. Wesentliche Faktoren der Metamorphose sind Veränderungen der Temperaturen und/oder Drücke, oft verbunden mit mechanischer Durchbewegung. Gemäß der Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks (SMCR) der International Union of Geological Sciences (IUGS) ist „*Metamorphose ein Prozess, der Veränderungen des Mineralbestands/der Zusammensetzung und/oder des Mikrogefüges eines Gesteins umfasst, vorzugsweise im festen Zustand. Dieser Prozess ist seinem Wesen nach vor allem eine Anpassung des Gesteins an physikalische Bedingungen, die sich von denen unterscheiden, unter denen das Gestein ursprünglich entstanden ist und die auch von den physikalischen Bedingungen abweichen, die gewöhn-*

*lich an der Erdoberfläche oder bei der Diagenese vorkommen. Der Prozess kann mit partieller Aufschmelzung koexistieren und Veränderungen der chemischen Pauschalzusammensetzung des Gesteins beinhalten.*“

In aller Regel gleicht die chemische Pauschalzusammensetzung eines Metamorphits trotz veränderten Mineralbestands der des vormetamorphen Ausgangsgesteins. Dieses wird als **Edukt** bezeichnet oder auch als Protolith. Die Art der bei der Metamorphose entstandenen Minerale ermöglicht Aussagen zu den Drücken und Temperaturen, die bei der Metamorphose wirksam waren. Zumeist sind im Gestein die höchsten im Zuge der Metamorphose erreichten Temperaturen dokumentiert. Dies liegt daran, dass bei sukzessive ansteigender Temperatur nacheinander diejenigen Minerale des Ausgangsgesteins instabil werden, die OH-Gruppen



Abb. 10: Beispiele verschiedener Gesteinsgruppen an einem Geröllstrand der südwestlichen Ostseeküste. Die Steine lassen anhand ihrer unterschiedlichen Gefüge und Farben auch ohne explizite Gesteinsbestimmung ihre Unterschiedlichkeit erkennen. Sie sind vom eiszeitlichen Inlandeis aus Skandinavien und dem Ostseeraum verfrachtete Glazialgeschiebe. Das breite Spektrum unterschiedlicher Gesteine ist ein Abbild des riesigen, geologisch vielfältigen Einzugsgebiets der nach Norddeutschland geflossenen Inlandeisdecken. Nirgends in Mitteleuropa lassen sich so viele Gesteinsarten auf jeweils engem Raum nebeneinander antreffen wie unter den verschiedenen Steilufern der südlichen Ostsee. G = Ganggestein, M = Metamorphit, P = Plutonit, S = Sedimentit, V = Vulkanit. Ostseestrand am Steilufer von Wangels westlich von Oldenburg/Holstein.

enthalten. Stattdessen bilden sich an höhere Temperaturen angepasste Minerale, die keine OH-Gruppen einbauen. Hierbei wird Wasser freigesetzt, das weitgehend als Dampfphase das System verlässt. Während der anschließenden Abkühlung, d. h. bei der eigentlich zu erwartenden rückläufigen (retrograden) Metamorphose, fehlt dann das Wasser für den Aufbau OH-haltiger Minerale, wie sie an die wieder geringeren Temperaturen angepasst wären. Als Folge bleibt der Mineralbestand weitgehend konserviert, der den höchsten erreichten Temperaturen angepasst ist. Die Anpassung des Mineralbestands an die wieder verringerten Temperaturen bleibt wegen der bei ansteigenden Temperaturen bewirkten „Trockenheit“ des jeweiligen Gesteinskörpers aus. Aus diesem Grund lassen sich die meisten Metamorphite als so etwas wie geologische Maximumthermometer verstehen. Die Rekonstruktion von metamorphen Temperatur- und Druckverläufen erfordert detaillierte Untersuchungen, die von erheblicher Laborausstattung abhängig sind.

**Gesteine des Erdmantels** treten nur unter besonderen Bedingungen und nur in geringem Ausmaß an der Erdoberfläche auf (Abb. 403). Normalerweise sind sie in Kontinenten von 30 bis 40 km Krustengesteinen überdeckt. In Orogenen können es auch z. B. 80 km und

mehr sein. Unter ozeanischer Kruste hingegen setzt der Erdmantel in weniger als 10 km Tiefe ein. In jedem Fall erfordert das flächenhafte Auftreten von Erdmantelgesteinen an der Erdoberfläche tektonische Aufstiegsbewegungen von einem bis in den Erdmantel reichenden Tiefgang. So können tektonische Decken in manchen Orogenen Erdmantelgesteine enthalten. Kleine, durchweg nur zentimetergroße Fragmente von Erdmantelgesteinen kommen in großer Zahl in Vulkaniten wie Alkali-Olivinbasalt und Basanit als Einschlüsse vor. Sie sind ein Hinweis darauf, dass die zugehörigen Magmen auf direktem Weg, ohne Zwischenaufenthalt, aus dem Erdmantel aufgestiegen sind.

Hinsichtlich seines Gesteinsbestands ist der Obere Erdmantel sehr viel monotoner aufgebaut als die kontinentale Kruste. Er ist durch das Fehlen von Feldspäten und Quarz gekennzeichnet. Dominierendes Mineral ist das Mg-Fe-Silikat Olivin in seiner Mg-reichen Varietät Forsterit. Die mengenmäßig bedeutendsten Gesteine sind ganz überwiegend aus Forsterit bestehende **Peridotite**, die je nach Auftreten oder Fehlen zusätzlichen Pyroxens als **Harzburgit** (mit Ca-freiem Pyroxen), **Wehrlit** (mit Ca-reichem Pyroxen), **Lherzolith** (mit Ca-freiem und Ca-reichem Pyroxen) oder **Dunit** (ohne Pyroxen) bezeichnet werden.

## 3.2 Gesteinsformende Prozesse

Gesteine sind nicht einfach „schon seit immer da“. Irgendwann müssen sie entstanden sein. So kann die Entstehung von Sedimentgesteinen unabhängig von großen „Umwälzungen“ vielerorts an der Erdoberfläche beginnen. Dies kann im Watt eingeleitet werden (Abb. 7). Weicher Schlamm kann unter geeigneten Bedingungen später zu festem Gestein werden. Auch in kontinentalen Ablagerungsbecken oder in Riffen aus kalkigen Organismen können Sedimentgesteine entstehen. Anderes gilt z. B. für magmatische Gesteine wie Granite. Sie haben die Entstehung von Gesteinsschmelzen zur Voraussetzung, wie sie nur im tieferen Untergrund geschehen kann. Vulkanite wie z. B. Basalt oder Rhyolith können nicht räumlich und zeitlich unabhängig von aktivem Vulkanismus entstehen. Gesteinsmetamorphose, d. h. die Überprägung und Umwandlung zuvor schon existierender Gesteine, findet nur bei stark erhöhter Temperatur und oft auch unter hohem Druck in der Tiefe statt. Hierfür sind andere Bedingungen erforderlich als anhaltende tektonische Ruhe. Metamorphe Gesteinsarten

wie z. B. Gneise, Granite, Glimmerschiefer oder Amphibolite werden im Zuge der plattentektonisch bedingten Entstehung von Falten- und Deckengebirgen gebildet, bei sogenannten Orogenesen (Gebirgsbildungen). Danach können die „heiß“ geprägten Gesteine nach Abschluss der Orogenese bei wieder abgeklungener Temperatur für Jahrmillionen oder Jahrmilliarden unverändert bestehen bleiben und die Bedingungen anzeigen, unter denen sie entstanden sind.

**Orogenesen** sind plattentektonische Ereignisse. Sie werden durch Subduktion bzw. Kollision von Platten des globalen Plattenmosaiks bewirkt. Orogene wirken sich geografisch zunächst als Hochgebirge aus. Im Verlauf geologischer Zeiträume werden sie unter allmählicher Heraushebung durch Erosion eingeebnet, bis von dem Gebirge nur noch eine eingeebnete Rumpffläche aus Gesteinen des tiefen Gebirgsuntergrunds übriggeblieben ist. Den zunächst hoch aufragenden Gebirgen stehen in ihrem tiefen Untergrund die Wurzeln



Abb. 11: Durch Abtragung eingeebnete Rumpffläche eines ehemaligen Hochgebirges: Ostharz als Teilabschnitt des zur Zeit des Karbons entstandenen Variszischen Orogens. Im Vordergrund ist das Tal der Bode in die Rumpffläche eingeschnitten. In Blickrichtung Westen erstreckt sich die aus der Zeit des Perms stammende Rumpffläche als Harzhochfläche. Schon damals wurde sie vom Granitmassiv des Brockens überragt, das die Höhen am Horizont bildet. Der höchste Punkt ist der Gipfel des Brockens (1142 m ü. NHN). Das Bodetal im Vordergrund ist erst im Zuge der tertiärzeitlichen Heraushebung des Harzgrundgebirges erosiv in das Ramberg-Granitmassiv eingeschnitten worden. Der Ramberg-Granit bildet die steile Felswand im Vordergrund und die Felsen in der gegenüberliegenden Talseite. Die Hochfläche zwischen dem Ramberg-Granitmassiv und dem Granitmassiv des Brockens wird vor allem von Grauwacken und Ton-schiefern eingenommen. Die Granitmagmen des Rambergmassivs und des Brockens sind vor ca. 300 Millionen Jahren im Endstadium der Variszischen Orogenese aufgestiegen.



**D**ie Bedeutung von Gesteinen für das Leben auf der Erde wird oft verkannt, gehören sie doch wie Pflanzen und Wildtiere zu unserer natürlichen Umgebung. Dieses neue Grundlagenwerk beschreibt ausführlich, welche Botschaften Gesteine enthalten. Es legt seinen Fokus deshalb nicht nur auf eine anschauliche und wissenschaftlich korrekte Beschreibung von Gesteinstypen, sondern v. a. auf die einprägsame Darstellung der Entstehung von häufigen, wichtigen und besonders bedeutenden Gesteinen. Dadurch geht es mehr in die Tiefe als die üblichen Gesteinsbücher, bei denen meist die Bestimmung im Vordergrund steht.

Mit diesem verständlich geschriebenen und mit über 400 farbigen Fotos ausgestatteten Buch soll nicht nur die erdgeschichtliche und gegenwärtige Bedeutung der Gesteine im Bewusstsein verankert, sondern auch deren Wahrnehmung als grundlegender Teilbereich unserer Natur im Ganzen gefördert werden.



ISBN 978-3-494-01957-4

Best.-Nr.: 494-01957

[www.quelle-meyer.de](http://www.quelle-meyer.de)