

Geowissenschaftliche Geländearbeit

Eine Informationsbroschüre für Lehrer und Schüler zur Verwendung im projektorientierten Unterricht

**Von Prof. Dr. Gregor Markl und Dr. Michael Montenari,
Universität Tübingen**

Biologie/Geographie	Geo-Ökosysteme
Biologie	Fossilien, Ökosysteme
Physische Geographie	Geomorphologie, naturräumliche Voraussetzungen für Besiedlung und menschliches Wirtschaften
Anorganische Chemie:	Silikate, Carbonate, Verwitterung, Schmelzphänomene, Lösungsreaktionen,
Physik	Strömungslehre, Gravitation
Geologie/Mineralogie:	Gesteine, Verwitterung, regionale Geologie; und je nach regionalen Voraussetzungen: Sedimente, Erze, Lagerstätten, Kristalle, Vulkane, Granit, Plattentektonik, Meteorite
Pädagogik	interdisziplinäres Arbeiten, projektorientiertes Arbeiten, Trennung von Beobachtung und Interpretation

Geländearbeit: der Beginn aller Naturwissenschaften

"Was ist das Schwerste von allem ?
Was dir das Leichteste dünkt:
Mit den Augen zu sehen,
Was vor den Augen dir liegt."
J.W. v. Goethe

1. Einleitung

„Geländearbeit“ ist so alt wie die Menschheit selbst – das Beobachten und Interpretieren von Spuren oder Phänomenen in der Natur stellte zu Beginn der Menschheitsentwicklung für unsere Vorfahren (und für manche Völker bis hinein ins 20. Jahrhundert) die Lebensgrundlage dar. Insofern kann man die empirischen, auf Naturbeobachtung beruhenden Wissenschaften als logische Fortentwicklung des Jäger- und Sammlerlebens der Vor- und Frühgeschichte sehen. Interessanterweise macht dabei das Bild, das der Mensch von der Natur hat, eine eklatante Wandlung durch: während er ihr in der Frühzeit mehr oder weniger hilflos ausgeliefert war, ist er heute in weiten Teilen ihr Bezwingler und gar zu einer Bedrohung für die Natur geworden. Andererseits war er früher in absoluter Weise von der Natur abhängig – sei es in Bezug auf Kleidung, Nahrung oder Unterschlupf – während der moderne Mensch der Industrieländer heute die Natur bestenfalls benutzt. Das heißt, es hat auch ein Wandel in der Rezeption von Natur stattgefunden, von ausgeliefert, aber dankbar zu beherrschend und ausbeutend. Letztere Haltung hat in den letzten zwei Jahrhunderten zu so massiven Veränderungen in der Natur geführt, dass in den vergangenen 20 Jahren ein deutliches Umdenken über das Verhältnis von Mensch und Natur eingesetzt hat – der Glaube, der sich zur Mitte des 20. Jahrhunderts zunehmend durchgesetzt hatte, dass nämlich der Mensch auf Kosten der Natur und ansonsten allein durch seine eigene Erfindungsgabe existieren könne, wurde durch die Verknappung von Rohstoffen, die Anzeichen für einen menschenbeeinflussten Klimawandel, durch zunehmende Ernährungsprobleme in großen Teilen der Dritten Welt und durch die weiterhin katastrophalen und weder genau vorhersagbaren noch irgendwie beherrschbaren Naturkatastrophen wie Erdbeben, Vulkanausbrüche und Überschwemmungen widerlegt. Das rasch fortschreitende Artensterben, die Veränderung und Verarmung der uns direkt umgebenden Natur, ihre Zersiedlung und Zerstörung führte dazu, dass der Begriff der Ökologie in den Vordergrund vieler gesellschaftlicher Debatten trat. Eine Rückbesinnung auf die Bedeutung der Natur für uns, als etwas, worin wir eingebettet sind, das unsere Handlungen gewissermassen „abpuffert“ (wobei dies eben seit etwa 100 Jahren nicht mehr wirklich funktioniert) führte dazu, dass man nun verstärkt bemüht ist, die Natur als etwas zu betrachten, dem man weitere Veränderung nicht zumuten kann und deren ge- oder zerstörte Teile man sogar wiederherstellen will. Diese „Rückbesinnung“ nun ist es, die der gegenüber den experimentellen Naturwissenschaften etwas als „anachronistisch“ betrachteten Geländearbeit wieder vermehrtes Gewicht verleiht, da man die Natur nur erhalten, seinen Bedürfnissen sanft anpassen oder gar „renaturieren“ kann, wenn man sie zunächst einmal gründlich studiert und ihre Zusammenhänge begriffen hat. Insbesondere letzteres, die Zusammenhänge, sind der Fokus der neuesten geländeorientierten Forschungsbemühungen.

2. Aktuelle Forschungsziele geländeorientierter Arbeit

Im Wesentlichen sind es zwei Disziplinen, die naturwissenschaftliche Geländearbeit als wichtigen Bestandteil enthalten: die Biologie und die Geowissenschaften. Innerhalb der Biologie sind drei Richtungen auszumachen:

- a. Die klassische Verhaltensforschung an wild lebenden Tieren;
- b. Die Betrachtung der Wechselwirkungen zwischen Mensch und belebter Natur in Ökosystemen;
- c. Die Erweiterung unseres Wissens über die Vielfalt an Tier- und Pflanzenarten, die trotz mittlerweile jahrtausendelanger Erforschung immer noch unvollständig bekannt ist.

Letzteres, bis vor wenigen Jahren eher als verstaubt betrachtete Domäne von musealen Sonderlingen ist in allerneuester Zeit wieder ins Zentrum des Interesses insbesondere der Pharma-Industrie gerückt, da man dort zu realisieren beginnt, dass die Natur ein Inventar

von –potentiell als Medikamente einsetzbaren – Stoffen beinhaltet, die z. B. in Pflanzen gespeichert sind („Heilpflanzen“) und die man sich erheblich leichter nutzbar machen kann, wenn man sie in der Natur findet, ihre Schutz- oder sonstige Funktion dort erkennt und dann im Labor isoliert und weiterentwickelt als wenn man sie im Labor zunächst mühsam erfinden und testen müsste.

Die geländeorientierten Geowissenschaften bearbeiten vier große Themenkomplexe:

- a. Georisiken (Erdbeben, Vulkanismus, Bergstürze etc.) mit dem besonderen Fokus auf der Vorhersagbarkeit und eventueller Beeinflussbarkeit von Naturkatastrophen und ihren Nachwirkungen;
- b. Grundlagenforschung (Petrologie, Strukturgeologie, Geophysik) mit dem Ziel, den Aufbau unserer Erde und ihre Entwicklung in geologischen Zeiträumen zu verstehen;
- c. Erkundung und Erschließung von Rohstoffen (Kies, Sand, Ton, Erze, Salz, Wasser)
- d. Die Entwicklung des Lebens und die Veränderung von Umweltbedingungen, wie sie in Sedimenten, Fossilien oder in der Veränderung geochemischer Parameter dokumentiert wird.

3. Gelände-Methoden

- *Ausrüstung*

- Lange Hosen (Geländearbeit beinhaltet IMMER auch „Durch-Büsche-Kriechen“ und Aufenthalt in Mücken- und Zecken-reichem (nachdenken über FSME-Impfung!) oder dornigem Gebiet, kurze Hosen sind daher ungeeignet)
- Festes Schuhwerk (hier gilt dasselbe wie oben)
- Rucksack zum Transport eventueller Proben
- Feldbuch zum Eintragen von Beobachtungen, Ideen (ganz wichtig, die Ideen, die man im Gelände hat, sind direkt vom Augenschein inspiriert und häufig im Labor nicht mehr ohne weiteres reproduzierbar, wenn man sie nicht notiert hat)
- Stifte und Tüten zum Kennzeichnen und Verpacken von eventuellen Proben, deren genauer Fundort mit Nummer und Datum ins Feldbuch eingetragen wird
- Geo-Hammer und evtl. Meißel, Spitzhacke usw. für geologische Arbeiten, Spatel für Arbeiten in feinkörnigen Sedimenten oder Böden
- Lupe, Taschenmesser, evtl. ein kleines Fläschchen Salzsäure (für den Karbonatstest bei geol. Kartierung), Geologen-/Wanderkompass
- Pinzette für biologische Arbeiten, z. B. an Insekten
- Fläschchen oder Kästchen zur Aufnahme biologischen Probenmaterials
- Kartenmaterial (topographisch, geologisch, bodenkundlich...)

- *Geowissenschaftliche Geländearbeit*

Der zentrale Punkt der meisten geowissenschaftlichen Geländearbeiten besteht in der Kartierung der an der Erdoberfläche aufgeschlossenen Gesteine. Folgende Merkmale können von Bedeutung sein: genereller Gesteinstyp (magmatisch, metamorph, sedimentär), Farbe, Mineralinhalt, Textur, Struktur (z. B. Lagerung, Klüftung), Verbund (mit welchen anderen Gesteinen kommt ein Gestein zusammen vor), Störungen, Deformation, Fossilführung. Diese Informationen werden auf Karten eingetragen, und dabei gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Eine Übersichtskartierung kann z. B. im groben Ablauf eines großen Gebietes und der daran anknüpfenden Auswertung von Luftbildern bestehen, die eine Karte im Bereich 1:25.000 bis 1:100.000 hervorbringt;
- Eine normale Kartierung, wie sie jeder Geologe für seine Diplom-Arbeit anfertigt, betrifft ein etwa 2x2 bis 5x5 km großes Gebiet, das dann auf Karten im Maßstab von 1:2000 bis 1:10.000 aufgetragen wird;

- Eine Detail- oder eine Aufschlußkartierung kann es beinhalten, Strukturen im Meter- oder gar Zentimeter-Maßstab zeichnerisch aufzunehmen. Dies ist insbesondere wichtig, um Dinge, die auf Fotos nur schlecht dokumentierbar sind, die aber für die Interpretation erhebliche Bedeutung haben können – wie z. B. kleine Störungen, Mineraleinregelung, Fließgefüge usw. – festzuhalten.

Weitere Arten der Geländearbeit sind die Entnahme von Proben, die im Labor mit verschiedenen, meist chemischen oder mikroskopischen Methoden weiter untersucht werden oder die Gewinnung geophysikalischer Daten wie der Leitfähigkeit, dem lokalen Magnetfeld (das eben nicht nur vom Erdmagnetfeld, sondern von lokalen Besonderheiten wie z. B. von Anhäufungen magnetischer Minerale beeinflusst wird) oder der Gravitation (die ebenfalls lokalen Schwankungen unterworfen ist, je nachdem, welche dichten oder weniger dichten Massen im Untergrund lagern). Diese geophysikalischen Daten und in noch größerem Masse die Auswertung der Ausbreitungsgeschwindigkeit und des Reflexions-Verhaltens von Wellen im Untergrund dienen dazu, Strukturen im uns nicht direkt zugänglichen Untergrund „sichtbar zu machen“. Da verschiedene Gesteinstypen Schallwellen unterschiedlich gut leiten bzw. reflektieren, erhält man durch die Aufzeichnung der Rückkehrgeschwindigkeit von Wellen, die man einem Punkt z. B. durch eine Sprengung erzeugt hat, ein Abbild von Strukturen im Untergrund. Die Geländearbeit von Hydrogeologen, schließlich, beinhaltet die Entnahme von Wasserproben für geochemische Untersuchungen (Schadstoffbelastung, Lösungsinhalt, Isotopie), sowie das Anlegen von Meßfeldern in natürlichen Aquiferen, um z. B. die Verweildauer von Stoffen im Grundwasser direkt messen zu können, um Durchflußraten zu bestimmen, um die Reaktivität von Stoffen mit dem Grundwasserleiter zu untersuchen oder auch um die relative Bedeutung verschiedener Fließwege abschätzen zu können.

Biologische Geländearbeit

Die biologische Geländearbeit kann ebenfalls die Kartierung in diesem Fall von Lebewesen (Tieren, Pflanzen, Pflanzengesellschaften, kleinen Ökosystemen) oder auch eine bodenkundliche Kartierung beinhalten. Die Verteilung von Pflanzen- und Tiergesellschaften in einer Kulturlandschaft kann z. B. wertvolle Hinweise darauf liefern, wo durch den Eingriff des Menschen die Natur akut bedroht ist, wie der Mensch die Natur im Detail verändert (welche Folgen ganz spezifische Veränderungen haben) oder wo spezielle Standortbedingungen herrschen. Auch hierbei kann man je nach Fragestellung groß- und kleinmaßstäbliche Karten anfertigen. Die Beobachtung der Lebensweise von Tieren erfordert natürlich deutlich andere Vorgehensweisen wie z. B. das ruhige Ansitzen und stundenlange Beobachten zu unterschiedlichen Tages- und Jahreszeiten, die Markierung von Tieren oder ihre Ausrüstung mit Peilsendern oder die Entnahme von Tieren zum Aufbau einer Labor-Population. Die Erkundung eines Gebietes zum gezielten Auffinden von neuen Tier- und Pflanzenarten wiederum wird die möglichst großräumige Begehung eines Gebietes und das Sammeln und schnelle „Vorbestimmen“ von den interessierenden Tier- oder Pflanzengruppen beinhalten. Jede Art von Geländearbeit ist damit unterschiedlich detailliert und auf unterschiedlich große Gebiete beschränkt, um den Aufwand an die Fragestellung anzupassen.

4. Projektmöglichkeiten an Schulen

Rein biologische Arbeiten

- Vergleichende Kartierung von Tier- und Pflanzenarten in kleinen Versuchsflächen verschiedener Biotope (Wiese, Wald, Bachrand, ...)
- Kartierung der Veränderung von Tier- und Pflanzenwelt eines Biotopes im Jahresverlauf

- Kartierung der Veränderung von Tier- und Pflanzenwelt durch Eingriff des Menschen, z. B. durch geeignete Versuchsflächen entlang von Strassen und weit entfernt davon oder in landwirtschaftlich genutzten und ungenutzten Gebieten
Wichtig bei obigen drei Punkten ist die detaillierte statistische Auswertung der Ergebnisse und die Diskussion darüber, was diese bedeuten, welche Tiere und Pflanzen besondere „Zeiger“-Funktionen haben, welche sehr unspezifisch sind, was im Bereich der Meßunsicherheit liegt, was man tatsächlich räumlich, zeitlich und statistisch auflösen kann mit dieser Art von Arbeit.
 - Selbstständige Pflege von nicht auf der Roten Liste stehenden Insekten oder Amphibien.
 - Anlegen von Tümpel, Betreuung eines Fließgewässers, Flechtenkartierung
- Rein geowissenschaftliche Arbeiten*
- Geologische oder sedimentologische oder bodenkundliche Kartierung eines Gebietes, eines Steinbruches, eines Strassenaufschlusses, einer Kiesgrube, eines trockenen Flußlaufes o. ä., Anfertigung eines geologischen Schnittes auf der Basis einer geologischen Karte und eigener Beobachtungen (-> Folienserie).
 - Entnahme von Gewässerproben und einfache chemische Untersuchungen daran (pH-Wert, Temperatur, Leitfähigkeit, Redox-Potential, Gehalt an wichtigen, leicht nachzuweisenden Ionen).
 - Sammeln von Fossilien in geeigneten Sedimentschichten, Bestimmung und Vergleich der Arten in verschiedenen Schichten, Vergleich der Individuenzahlen, Statistik der Größenverteilung, der Artenverteilung, Interpretation der Paläo-Ökologie (flachmarin, tiefmarin, Land, fluviatil, lacustrin...).

Integrierte Geo-Ökosystem-Betrachtung

- Kartierung der Gesteine, der Böden, der Pflanzen- und der Tiergesellschaften eines Gebietes, insbesondere der Vergleich, wie verschiedene Gesteine verschiedene Böden hervorbringen, wie verschiedene Bodenfeuchtigkeiten diese Böden und die auf ihnen wachsenden Pflanzen verändern und welche Tiere in welchen dieser Gesellschaften leben. Hierbei ist evtl. die Freilegung von Bodenprofilen und Gestein in kleinen Grabungen notwendig.
- Der Einfluß des Untergrundes auf die Bodentemperatur; dies kann vergleichend in Bezug auf jahreszeitlichen Wechsel oder auf verschiedene Exponierungsrichtungen und in Bezug auf verschiedene Gesteine/Böden durchgeführt werden.

5. Geowissenschaftliche Grundlagen von Geländearbeiten

Grundbegriffe

- **Kristall:** Festkörper mit dreidimensional regelmäßiger Anordnung der atomaren chemischen Bausteine (= Kristallgitter).
- **Mineral:** Natürlich entstandener, physikalisch und chemisch homogener anorganischer Bestandteil der Erde sowie des Kosmos, mit typischer Kristallstruktur.
- **Gestein:** Meist Gemenge aus verschiedenen Mineralen („polymineralisch“), seltener aus vielen Kristallen eines Minerals bestehend, mit statistisch gleichartiger Zusammensetzung innerhalb eines geologischen Körpers.
- **Fossil:** Fossilien (lat. fodere = [aus-]graben) sind die Reste vorzeitlicher Pflanzen und Tiere, einschließlich ihrer Lebensspuren wie Fährten, Fraßspuren etc. sowie chemisch nachweisbare Substanzen, die als Chemofossilien bezeichnet werden (z.B. Chlorophyll und spezifische Biomoleküle, sogen. „Biomarker“).

Der Aufbau der Erde

Die Erde ist schalenförmig aufgebaut: ein metallreicher Kern (Fe, Ni, K, evtl. S, O) ist umgeben von einem vornehmlich aus Fe-Mg-Silikaten bestehenden Mantel, der wiederum von zwei Typen von Kruste überlagert wird: der ozeanischen und der kontinentalen Kruste. Aus dem Erdkern und aus dem unteren Erdmantel haben wir keine Proben, über ihre Beschaffenheit (ob flüssig oder fest) und ihre Zusammensetzung können wir nur aus geophysikalischen Daten und aus der Untersuchung ehemaliger, nun zerstörter extraterrestrischer Körper (Meteorite) schließen, von denen manche einen offensichtlich der Erde vergleichbaren Kern und Mantel hatten. Die Erdkruste und ihre Gesteine ist etwas im Sonnensystem bisher einmaliges, da für ihre Bildung (der im Endeffekt auch wir unsere Lebensgrundlage verdanken) eine relativ unwahrscheinliche Mischung aus richtiger Entfernung von der Sonne (für die Temperaturen von außen) und Körpergröße (für die Art und Schnelligkeit der Abkühlung, also für die Temperatur von innen) nötig ist.

Die Gesteine, die wir auf der Erde vorfinden und beproben können, stammen aus maximal 400 km Tiefe (in manchen Explosivbrekzien, sog. Kimberliten, die Diamantführend sind), also aus dem oberen Teil des Erdmantels, überwiegend aber aus der Kruste, die in Ozeanen etwa 6-15 (typisch: 12) km, in Kontinenten etwa 25-70 (typisch: 30) km dick ist. Der Mantel weist fundamental andere Gesteine auf als die Kruste und die ozeanische Kruste unterscheidet sich ebenso fundamental von der kontinentalen. Die Hauptunterschiede sind ihre chemischen Zusammensetzungen. Sehr vereinfacht ist der Mantel Fe-Mg-reich, die ozeanische Kruste relativ reich an Ca, Al und Fe, und die kontinentale Kruste (in ihrem Durchschnitt, über alle die verschiedenen Gesteine integriert) reich an K, Al und Si. Diese Zusammensetzungsunterschiede verbunden mit Unterschieden von Druck und Temperatur (trivial: im Mantel ist es wärmer und es herrscht höherer Druck als an der Erdoberfläche) bedingen das Vorhandensein verschiedener Minerale und Gesteine in den verschiedenen Bereichen der Erde.

Zusammensetzung der Erdkruste, Typen von Gesteinen

Nach der Bildung der Erde bei extrem hohen Temperaturen ($\gg 2000^\circ\text{C}$) kristallisierten die ersten Gesteine aus Schmelzen aus. Solche Gesteine bezeichnet man als **Magmatite** oder magmatische Gesteine. Auf der Erde sind überwiegend Silikatschmelzen von Bedeutung, die als wichtigste Elemente (neben O) Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Mn, Ti, P haben, sowie als sogenannte volatile (=leichtflüchtige) Komponenten H_2O , CO_2 , F, Cl und S-Verbindungen. Selten kommen auch reine Carbonatschmelzen vor (Kaiserstuhl). Magmatische Gesteine, die an der Erdoberfläche ausfließen, heißen **Extrusivgesteine (Vulkanite)**, solche, die innerhalb der Erdkruste „steckenbleiben“ und unter einigen Kilobar Druck auskristallisieren, **Intrusivgesteine (Plutonite)**.

Verwittern Gesteine, z. B. Magmatite, an der Erdoberfläche, so geschieht dies in zwei Arten: die physikalische Verwitterung z. B. durch Frostsprengung und Windausblasung löst Körner aus dem Gesteinsverband, die sich an anderer Stelle wieder ansammeln (als klastisches Sediment) und eventuell durch Verfestigung ein neues Gestein bilden können, ein **klastisches Sedimentgestein (Sedimentit)**. Die chemische Verwitterung löst Minerale auf oder wandelt sie in andere Minerale um, wobei bestimmte Elemente in Lösung gehen. An anderer Stelle können diese wieder ausgefällt werden (als chemisches Sediment), und nach Verfestigung ein **chemisches**

Sedimentgestein bilden. Werden Schalen abgestorbener Tiere (z. B. Muschelschalen, die ja aus Kalk bestehen), sedimentiert und verfestigt, so spricht man von einem **biogenen Sedimentit**.

An der Erdoberfläche liegende Gesteine (Sedimente wie Magmatite) können von immer weiteren Schichten von Sediment bedeckt und dadurch in größere Tiefen (zu höheren Drücken und Temperaturen) versenkt werden. Bei Sedimenten setzt dabei die **Diagenese** ein, d. h. sie rekristallisieren, der Porenraum wird verringert und sie geben viel Wasser ab. Bei etwa 200-250 °C beginnen sowohl in Sedimenten als auch in magmatischen Gesteinen neue Minerale zu kristallisieren, da die vorherigen Minerale thermisch nicht mehr stabil sind. Hier beginnt der Bereich der Gesteinsmetamorphose („Umwandlung“), die Gesteine werden zu metamorphen Gesteinen oder **Metamorphiten**. Gesteinsmetamorphose geschieht bei Temperaturen von 200/250°C bis etwa 1050 °C (in Extremfällen, in normaler kontinentaler Kruste ist 750°C das höchste, was erreicht wird). Ab ca. 600°C beginnen die Gesteine dann, zunächst teilweise wieder aufzuschmelzen. Diese Schmelzen können im Endeffekt wiederum magmatische Gesteine bilden, diese können wieder verwittern und somit schließt sich der Kreis wieder. Außer durch den oben beschriebenen Prozeß der „Zusiedimentation“ können sich metamorphe Gesteine auch noch durch verschiedene andere Prozesse bilden, so durch Subduktion („Subduktionszonenmetamorphose“ entsteht durch die Überprägung von Ozeanboden, der an einer destruktiven Plattengrenze in den Erdmantel versenkt wird), durch Wärmeabgabe von Magmen („Kontaktmetamorphose“ entsteht um kristallisierende Schmelzen herum in der oberen Erdkruste, wo der Temperaturunterschied zwischen Nebengestein und kristallisierender Schmelze groß ist) und durch Gebirgsbildungen („Regionalmetamorphose“ wird durch das Aufeinanderstapeln und Verformen von Gesteinspaketen während der Kollision zweier Krustenplatten verursacht). Der Erdmantel besteht, da er nach seiner Entstehung bei hohen Drücken und Temperaturen rekristallisierte, aus metamorphen Gesteinen.

Strukturen verschiedener Gesteine – Rückschlüsse auf Entstehungsprozesse

Der Vulkanismus liefert:

- a) Feste Produkte: Schlacken, Bomben, Lapilli, Asche, Bimse, Gesteine...
- b) gasförmige Produkte: vulkanische Dämpfe (Exhalationen) als Fumarolen und Solfataren mit H₂O-Dampf, CO₂, H₂S, Cl- und F-Verbindungen, bisweilen auch mit B- und As-Verbindungen...

Typische Vulkanit-Strukturen:

vollkristallin-porphyrisch: auskristallisierte Grundmasse mit Einsprenglingen

hemikristallin-porphyrisch: z.T. glasig erstarrte Grundmasse mit Einsprenglingen

glasig: gesamte Schmelze glasig erstarrt (z. B. Obsidian)

poröse Strukturen:

blasig = einzelne, ± runde Hohlräume

schaumig = zahlreiche, ± runde Hohlräume

schlackig = zahlreiche unregelmäßige Hohlräume

Mandelstein-Struktur = Hohlräume von Mineralen ausgefüllt

Typische Sedimentstrukturen:

brecciöse Struktur = große eckige Gesteinsbruchstücke

konglomeratische Struktur = große gerundete Gesteinsbruchstücke

Sandstein-Struktur = kleine, meist gerundete Körner

- Tonstein-Struktur = sehr kleine Mineral-Partikel, makroskopisch dicht erscheinend.
- Oolithische Struktur = Oolithe bestehen aus Ooiden, das sind konzentrisch-schalige, kugelige bis ellipsoidische Gebilde mit gewöhnlich 0,5 - 1 mm Durchmesser.

Prozesse bei der Gesteinsmetamorphose

Umkristallisation = Mineral-Neubildung und/oder Kornvergrößerung;

Verschieferung = Einregelung der Minerale. Schieferung ist das Resultat eines gerichteten Druckes, der vor allem blättrige und stengelige Minerale parallel ausrichtet. Die Schieferung ist die typische Textur der Metamorphite.

Verfaltung = plastische Deformation durch Gegeneinander-Bewegung zweier Gesteinseinheiten bei hohen Temperaturen läßt Falten entstehen, deren Längsachsensenkrecht zur Deformationsrichtung liegen. Durch Ausmessen solcher „Faltenachsen“ kann man die bei Bildung der Falten vorherrschenden Karfrichtungen rekonstruieren.

Hauptprozesse der Sedimentit-Bildung:

- 1) Erosion: mechanische und chemische Verwitterung (klastische und chemische Sedimentite) bzw. Absterben von Organismen (biogene Sedimentite), danach fluviatiler, äolischer oder glazialer Transport
- 2) Sedimentation: terrestrisch oder marin bzw. Ausfällung,; Riffbau
- 3) Diagenese: Kompaktion und Zementation

Bestimmungskennzeichen der Minerale

1) Chemische Zusammensetzung: z.B. Salze und Karbonate (Prüfung mit H₂O bzw. verd. HCl)

2) Farbe: a) Eigenfarbe entsprechend chemischer Zusammensetzung
b) Fremdfärbung durch Spurenelemente, Gitterstörung oder Mineraleinlagerung

3) Härte: Härteskala nach MOHS (= Ritzhärte, die Minerale mit höheren Zahlen ritzen diejenigen mit geringeren Zahlenwerten)

Härte	1 = Talk	6 = Feldspat
	2 = Gips	7 = Quarz
	3 = Calcit	8 = Topas
	4 = Fluorit	9 = Korund
	5 = Apatit	10 = Diamant

4) Strich-Farbe (die Farbe des pulverisierten Minerals, die häufig von der makroskopischen Farbe verschieden ist: nur bei Erz-Mineralen)

5) Glanz: Glas-, Fett-, Perlmutter-, Metall-Glanz

6) Teilbarkeit: a) Spaltbarkeit nach glatten Flächen (unterschiedlich gut, charakteristische Spalt-Winkel)
b) unebener, muscheliger Bruch

7) Kristall-Habitus: blättrig, tafelig, stengelig (säulig, prismatisch), kurz- oder langstengelig, nadelig, haarförmig, isometrisch

8) Kristall-System: triklin (trkl.), monoklin (mkl.), orthorhombisch (orh.), tetragonal (tetr.), trigonal (trig.), hexagonal (hex.), kubisch (kub.)

9) Zwillingsbildung (eine bestimmte Art der Verwachsung von 2 Kristallen)

10) Dichte

- 11) Magnetismus (d. h., ob ein Mineral magnetisch ist oder nicht)
12) Paragenese (das Zusammenvorkommen bestimmter Minerale, so etwas wie charakteristische Lebensgemeinschaften bei Tieren und Pflanzen)

Die wichtigsten gesteinsbildenden Minerale

Achtung: X ist die gebräuchliche Abkürzung für Kristall, XX für Kristalle

Quarz: SiO₂

Farblos-klar (= Bergkristall) oder milchig-trüb (= Fettquarz, Milchquarz); auf X-Flächen Glasglanz, auf Bruchstellen Fettglanz; keine Spaltbarkeit, Bruch uneben, muschelig wie Glas; Härte 7. X-System trigonal = Tieftemperatur-Qz in Plutoniten, Sedimentiten u. Metamorphiten sowie in Mineralgängen; hexagonal = Hochtemperatur-Qz in Vulkaniten.

Als Gemengteil in vielen Gesteinen, meist xenomorph (=keine gut ausgebildeten Kristalle); idiomorphe (=gut ausgebildete Kristalle) XX in Mineralgängen, Klüften und Drusen, ferner als Einsprenglinge in Vulkaniten.

Farb-Varietäten: Rauchquarz braun, Morion braunschwarz, Amethyst violett, Rosenquarz rosa, Citrin gelb.

Kryptokristalline (=extrem kleine XX) Varietäten: Chalcedon ist feinstfaserig u. feinstkörnig, durchscheinend, bläulichgrau u. andere Farben, z.B. gelb- bis blutrot = Karneol oder lagig-verschiedenfarbig = Achat. Jaspis ist undurchsichtiger Chalcedon, z.T. intensiv gefärbt; Hornstein ist schmutzig-grauer Chalcedon, Feuerstein oder Flint sind knollige Aggregate in Karbonatsedimenten und bestehen aus einem Chalcedon/Opal-Gemenge. Opal (SiO₂ · n H₂O) ist z.T. amorph, z.T. kryptokristallin; bildet nierig-traubige u. krustenartige Aggregate infolge Eintrocknung einer Kieselgallerte; z.T. prächtiges Farbenspiel = Edelopal, Feueropal.

Feldspäte:

Or = Orthoklas = KAlSi₃O₈ (Kalium-Aluminium-Silikat)

Ab = Albit = NaAlSi₃O₈ (Natrium-Aluminium-Silikat)

An = Anorthit = CaAl₂Si₂O₈ (Calcium-Aluminium-Silikat)

Alkalifeldspäte: Mischungen vornehmlich aus Or und Ab, sehr wenig An

Plagioklase: Mischungen aus Ab und An, nur sehr wenig Or

Farblos, selten klar, meist weißlich getrübt oder schwach pigmentiert; Alkalifeldspat oft rosa oder gelblich, Plagioklas oft grau-weiß bis blaß-grünlich; Glasglanz, durch Verwitterung matt; Spaltbarkeit nach zwei Richtungen sehr gut; X-System monoklin. und triklin.; Habitus gedrunge prismatisch oder tafelig; Härte 6.

Zwillingsbildung sehr häufig: bei Alkalifeldspäten meist "Karlsbader Gesetz" = zwei Zwillingspartner mit entgegengesetzt orientierter Spaltbarkeit; bei Plagioklasen --> lamellare Verzwilligung aus zahlreichen, abwechselnd entgegengesetzt orientierten Zwillingspartnern.

Perthit-Bildung: aderartige Entmischung von Albit in Orthoklas.

Feldspäte stellen in der Mehrzahl der magmatischen und metamorphen Gesteine die Hauptkomponenten dar, haben aber nur untergeordnete Bedeutung in den Sedimentiten. Anteil an der oberen Erdkruste: Plagioklas ca. 39 Vol.-%, Alkalifeldspat ca. 12 Vol.-%.

Glimmer und verwandte Minerale:

Phyllosilikate = Blattsilikate: blättriger Habitus, Spaltbarkeit nach einer Fläche vollkommen; Farbe sehr verschieden: farblos, bräunlich bis schwarz, grünlich; Glas-

bis Perlmutterglanz, bei dunklen Glimmern Metallglanz, einige Unterarten auch matt oder wachsartig; Härte 1 - 3; X-System monoklin., oft pseudo-hexagonal.

Biotit: $K(Mg,Fe)_3[(OH)_2/(Al,Fe)Si_3O_{10}]$

Braun bis schwarz; in allen Gesteinen, in Sedimenten jedoch oft gebleicht.

Muskovit: $KAl_2[(OH,F)_2/AlSi_3O_{10}]$ bzw. **Hellglimmer**

Silbrig glänzend, auch gelblich und grünlich; in sauren Plutoniten, in Sedimentiten und Metamorphiten. Die feinschuppige Varietät heißt Sericit.

Chlorite: Fe-Mg-Al-Silikate mit glimmerähnlicher Struktur; hell- bis dunkelgrün; z. T. sekundär in sehr vielen Gesteinen.

Serpentin: $Mg_6[(OH)_8/Si_4O_{10}]$

Blätter-Serpentin = Antigorit, Faser-Serpentin = Chrysotil, z.T. als Asbest; grünlich bis schwarz; feinschuppige bis dichte und faserige Aggregate; in Metamorphiten.

Talk: $Mg_3[(OH)_2/Si_4O_{10}]$

Farblos bis grünlich; z.T. blättrig, z.T. dichte Aggregate = Speckstein; sehr weich = Härte 1; in Metamorphiten. Fühlt sich typisch „seifig“ an.

Tonminerale, z.B. **Kaolinit:** $Al_4[(OH)_8/Si_4O_{10}]$

Rein = farblos, meist verunreinigt und pigmentiert; weich, Härte ca. $2^{1/2}$; stark wasseraufnehmend; Tonmineral-reiche Gesteine haben typischen Tongeruch; in Verwitterungsbildungen und Sedimenten.

Amphibole und **Pyroxene**

= Sammelnamen für zwei ähnliche Silikatmineralgruppen.

Gleiche Eigenschaften:

meist dunkelfarbig, grünlich-schwarz, braun-schwarz; starker Glasglanz; sehr gute Spaltbarkeit; Härte 6; X-System vorwiegend monoklin., auch orthorhombisch.

Verschiedene Eigenschaften:

meist langstengelig,

meist kurzstengelig

nadelig bis faserig

bei idiomorphen XX:

sechseckiger Querschnitt,

achtseitiger Querschnitt,

3 Kopfflächen

2 Kopfflächen

Spaltwinkel 56° u. 124°

Spaltwinkel ca. 90°

Vorkommen:

häufiger in Metamorphiten

häufiger in Magmatiten

Amphibole: Komplexe Silikate: $A_{0-1}X_2Y_5[(OH,F)_2/Z_8O_{22}]$

A = Na, K; X = Na, Ca, Mg, Fe^{2+} , Mn; Y = Mg, Fe^{2+} , Mn, Al, Fe^{3+} , Ti; Z = Si, Al.

Hornblende: dunkelgrün bis schwarz, kurz- bis langprismatisch, in Plutoniten und Metamorphiten.

Aktinolith: grün, langstengelig, z.T. faserig = Asbest, in niedrig-metamorphen Gesteinen.

Pyroxene: $Y_2Z_2O_6$ mit Y = Na, Ca, Mg, Fe, Al, Ti, Mn; Z = Si, Al

Klinopyroxene (Cpx): X-System mkl.

Augit: dunkel grünlich bis schwarz, in Plutoniten und Metamorphiten (Granulite).

Diopsid: in Plutoniten und Metamorphiten.

Jadeit/Omphacit: blaß- bis intensiv grün, in hochdruckmetamorphen Gesteinen (Eklogiten)

Orthopyroxene (Opx): X-System orh.; in Ultramafiten und Metamorphiten (Granuliten).

Olivin: $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$

Olivgrün bis braun, glasglänzend; eine deutliche Spaltbarkeit, sonst muscheliger Bruch; Härte 6 - 7; X-System orth., meist gedrungene Körner; vorwiegend in Magmatiten, seltener in Metamorphiten; in Vulkaniten als Einsprenglinge = X-Individuen und als Einschlüsse = X-Aggregate; nicht zusammen mit Quarz; bei Metamorphose und bei Verwitterung Umwandlung in Serpentin und Limonit, dann typisch braune Verwitterungsfarbe.

Granate: $\text{A}_3\text{B}_2[\text{SiO}_4]_3$ A = Fe^{2+} , Mg, Mn, Ca; B = Al, Fe^{3+}

Kub., X-Form meist Rhombendodekaeder; Farbe meist braun bis rot in verschiedenen Tönen; Glas- bis Harzglanz; keine deutliche Spaltbarkeit, muscheliger Bruch; Härte $6\frac{1}{2}$ - $7\frac{1}{2}$.

Epidot: $\text{Ca}_2(\text{Fe,Al})\text{Al}_2[\text{O/OH/SiO}_4/\text{Si}_2\text{O}_7]$

Dunkelgrün bis schwarz, feinkörnige Aggregate auch gelbgrün; starker Glasglanz; mkl.; oft langprismatischer Habitus; nur eine vollkommene Spaltbarkeit; Härte 6 - 7; vorwiegend in Metamorphiten, z.T. in Klüften und Drusen.

Alumosilikate: Andalusit, Sillimanit, Kyanit (Disthen): Al_2SiO_5

Farblose (Sill, Ky), braune (And), weiße (Sill, Ky) oder hellblaue (Ky) XX; Glasglanz; trkl.; in Metamorphiten, And selten in Magmatiten.

Ky: zwei Spaltbarkeiten parallel der Längsachse; zwei verschiedene Härten: längs = 4 - $4\frac{1}{2}$, quer = 6 - 7; meist tafelig oder stengelig.

And: bildet charakteristische Kreuze (Chiasmolith = Kreuzstein) durch Verwachsung zweier Kristalle; meist dickprismatische Leisten.

Sill: feinnadelig, schwer zu sehen, gern verwachsen mit Biotit und Granat.

Turmalin: Komplexes Boro-Silikat

Trig.; gesteinsbildend schwarz (= Schörl), Schmuckstein-Qualitäten grün, rot, blau; langstengelige XX mit Längsstreifung und Querteilung; radialstrahlig = Turmalinsonne; Härte 7; Vorkommen in hellen, sauren Magmatiten, sehr klein in Metamorphiten und vor allem groß und schön in Pegmatiten (grob- bis riesenkörniges Kristallisationsprodukt aus einer an Volatilen angereicherten, meist granitischen Restschmelze).

Magnetit: Fe_3O_4

Kub.; X-Form Oktaeder, oft jedoch unregelmäßige Körner; undurchsichtig, schwarz; Strich schwarz; Metallglanz; Spaltbarkeit unvollkommen, meist muscheliger Bruch; Härte $5\frac{1}{2}$; magnetisch; in Magmatiten und Metamorphiten.

Hämatit: Fe_2O_3

Trig.; XX tafelig oder blättrig; größere XX undurchsichtig, stahlgrau mit lebhaftem Metallglanz, dichte Aggregate mattgrau; Strich rötlichbraun; z.T. als roter Glaskopf (niedrig-kugelig, aus ehemaligem Gel ausgefällt und rekristallisiert; Härte $6\frac{1}{2}$; Vorkommen in Klüften, Drusen und Mineralgängen, gesteinsbildend in Sedimentiten

und Metamorphiten, weit verbreitet als rotes Pigment in Mineralen und als Verwitterungsbildung.

Limonit:

Braunes Mineralgemenge verschiedener Fe-Hydroxide, überwiegend α -FeOOH = Goethit (Nadeleisenerz); Strich gelbbraun bis braun; häufigstes braunes Pigment in verwitternden Gesteinen; oft in Krusten und knolligen Aggregaten = brauner Glaskopf; z.T. erdig.

Manganomelane (Psilomelan, Kryptomelan u.a.):

schwarze Mn-Oxide mit anderen Kationen und H₂O; Farbe und Strich schwarz; z.T. als schwarzer Glaskopf, z.T. als dichte Aggregate oder als Dendriten; verbreitete Verwitterungsbildung aus Mn-haltigen Mineralen, bildet die typischen schwarzen Krusten auf und in Gesteinen.

Calcit (Kalkspat): CaCO₃

Trig. XX mit sehr mannigfaltigen Flächenkombinationen; farblos-klar bis weißlich getrübt, durch Limonit oder Hämatit gelblich-bräunlich bzw. rötlich pigmentiert; Glasglanz; Härte 3; vollkommene Spaltbarkeit nach drei Richtungen = rhomboedrisch; starkes Brausen mit verdünnter Salzsäure; Hauptmineral der sedimentären und metamorphen Kalksteine, selten magmatisch; ferner als Gangart in Mineralgängen sowie in Klüften und Drusen und als Konkretionen.

Dolomit: CaMg(CO₃)₂

Ähnlich Calcit, auch trig. XX mit vollkommener rhomboedrischer Spaltbarkeit; isometrischer Habitus; X-Flächen oft etwas gekrümmt; Härte 3¹/₂ - 4; durch Fe- und Mn-Gehalte oft gelblich oder bräunlich; mit verdünnter Salzsäure nur sehr schwach oder nicht brausend; Vorkommen ähnlich Calcit, aber seltener: auf Mineralgängen sowie als dichte bis körnige Massen in Sedimentiten und Metamorphiten.

Steinsalz (Halit): NaCl

Kub.; Würfel; vollkommene Spaltbarkeit nach den Würfelflächen; farblos-klar bis weißlich getrübt; Härte 2¹/₂; feuchter Glasglanz; wasserlöslich; typischer Geschmack; Vorkommen in Salzlagerstätten fast aller geologischer Formationen, entstanden infolge Verdunstung von Meerwasser.

Sylvin: KCl

Ähnlich Steinsalz; auch würfelige XX und vollkommene Spaltbarkeit nach den Würfelflächen; ebenfalls leicht wasserlöslich, aber scharfsalzig, bitter schmeckend; farblos bis milchig-trüb, oft durch Hämatit rot pigmentiert; Härte 2; Vorkommen zusammen und wechsellagernd mit Steinsalz.

Gips: CaSO₄ · 2 H₂O

XX farblos-klar bis weißlich, als Gestein weiße oder graue, dichte bis körnige Massen; mkl. XX mit prismatischem oder tafeligem Habitus; z.T. Zwillingsbildung = Schwalbenschwanz-Zwilling; Spaltbarkeit nach 3 Richtungen; Glanz auf verschiedenen Spaltflächen glas- oder perlmuttartig; Härte 2; Vorkommen im sedimentären Bereich meist zusammen mit anderen Salzmineralen oder als Verwitterungsprodukt verschiedener primärer Minerale; auf Klüften als Fasergips;

dichte und rein weiße Aggregate = Alabaster; in Wüstengebieten Bildung von Gipsrosen.

Erwärmung von Gips auf 120 - 130 °C bewirkt Umwandlung in das Halbhydrat $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$ = Stuckgips. Anhydrit ist wasserfreies CaSO_4 , das sich in der Natur bei der schwachen Metamorphose von Gips bildet.

Auswahl verbreiteter Minerale aus Erzlagerstätten

Pyrit: FeS_2

Messinggelb; metallglänzend; kub.; X-Form Würfel und Pentagondodekaeder; Spaltbarkeit undeutlich, muscheliger Bruch; Strich schwarz; Härte 6 - $6\frac{1}{2}$; Vorkommen in allen Gesteinen, in hydrothermalen Erz- und Mineralgängen sowie in hydrothermal-sedimentären und metamorphen Erzlagerstätten; verwittert leicht zu Limonit.

Kupferkies (Chalkopyrit): CuFeS_2

Messinggelb, häufig bunt angelaufen, goldener als Pyrit, Bruch grobmuscheliger als Pyrit; Strich schwarz; tetr.; Härte $3\frac{1}{2}$ - 4 (Unterschied zu Pyrit!); Vorkommen wie Pyrit.

Bleiglanz (Galenit): PbS

grausilbern glänzend; Strich grauschwarz; Härte $2\frac{1}{2}$ - 3; kub.; oft Würfel; sehr vollkommene Spaltbarkeit nach den Würfelflächen; Vorkommen wie Pyrit, Chalkopyrit.

Zinkblende (Sphalerit): ZnS

Mit zunehmendem Fe-Gehalt von farblos über hellgelb bis schwarzbraun gefärbt; Strich gelblichweiß bis braun; Härte $3\frac{1}{2}$ - 4; kub.; vollkommene Spaltbarkeit; Metallglanz; Vorkommen wie Pyrit, Chalkopyrit, Galenit.

Flußspat (Fluorit): CaF_2

Würfel und andere kubische Formen; Mosaik-Wachstum; farblos-klar oder farbig; gelb, grün, blau, rosa, violett; violettschwarz = Stinkspat; Glasglanz; Härte 4; Spaltbarkeit nach dem Oktaeder = nach 4 Richtungen; Vorkommen in hydrothermalen Erz- und Mineralgängen und sauren Magmatiten.

Baryt (Schwerspat): BaSO_4

Farblos, meist aber weißlich getrübt oder gelblich oder rosa pigmentiert; rh. XX tafelig oder grobblättrig, z.T. rosettenförmige Aggregate; Glasglanz; 3 verschiedene gute Spaltrichtungen; Härte 3; auffallend schwer: Dichte 4,5; Vorkommen wie Fluorit.

Malachit und Azurit: basische Kupfercarbonate

Malachit grün, Azurit blau, Malachit ist häufigstes Verwitterungsprodukt anderer Cu-Mineralen und sehr auffällig; häufig krustig oder nadelig, Azurit auch in tafeligen Kristallen; vor allem in der Verwitterungszone hydrothermalen Erzlagerstätten

Chrysokoll: wasserhaltiges Cu-Silikat

hellblau bis hellgrün, häufig in trockenen Sammlungsräumen durch Wasserverlust ausbleichend, bildet typische Krusten, häufig rissig, auf primären Cu-Erzen, vor allem, wenn Silikatgesteine in der Nähe sind.

Wichtige Gesteine:

Granit: Plutonit mit Quarz, 2 Feldspäten und meist Biotit, seltener Muskovit und Biotit; meist gleichkörnige Textur mit idiomorph ausgebildeten Mineralen (= zumindest andeutungsweise mit Kristallformen); Farbe häufig rosa-bräunlich.

Gabbro: Plutonit mit Plagioklas und Klinopyroxen, dazu manchmal Olivin, Magnetit, Orthopyroxen; ist meist dunkel oder schwarz-weiß gefärbt, Textur ähnlich Granit.

Rhyolith: Vulkanit mit Mineralen wie Granit, meist sehr feinkörnig, hell- bis rotbraun

Basalt: Vulkanit mit Mineralen wie Gabbro, meist sehr feinkörnig, schwarz bis grau, hart und splittrig.

Sedimenteinteilung nach Korngröße:

	<u>Sediment</u>		<u>Sedimentit</u>	
		Blöcke		
63	mm -----		Breccie, Konglomerat	Psephit
		Kies		
2	mm -----	-----		-----
		Sand	Sandstein	Psammit
0,063	mm -----	-----		
		Silt	Siltstein	0,02 mm -----
0,002	mm -----	-----		Pelit
		Ton	Tonstein (= Schiefertone)	

Grauwacke: Klastisches Sediment, meist grau, mit hohen Gehalten an Tonmineralen, meist auch Quarz und etwas Feldspäte

Tonstein: Klastisches Sediment, sehr feinkörnig, grau bis schwarz wie Basalt, aber sehr weich

Arkose: Klastisches Sediment mit viel Feldspäten und Quarz, meist bräunlich

Sandstein: Klastisches Sediment, das überwiegend aus Quarz besteht, kann sehr verschieden gefärbt sein, bei uns meist rötlich, seltener gelblichbraun, Quarzkörner meist gerundet.

Mergel: Klastisches Sediment, das aus Kalk und Ton-Mineralen besteht, meist bräunlich, beim Anhauchen dumpfer Geruch nach lehmiger Erde.

Kalk: Klastisches, chemisches oder biogenes Sediment, besteht überwiegend aus Calcit, braust mit Salzsäure, meist gelblich oder bräunlich.

Tuff: Vulkanisch-klastisches Sediment, entsteht durch Ascheauswurf aus Vulkanen, sehr verschieden gefärbt und texturiert, meist etwas „chaotisch“. "Kalktuff" hat damit nichts zu tun, das ist ein lockerer Kalkstein!

Tonschiefer: wie Tonstein, aber etwas härter, schiefriger, splittriger, aber noch nicht so hart wie Basalt.

Gneis: Metamorphes Gestein, meist stark schiefrig, relativ hart, mit Quarz und Feldspäten, Glimmern, schwarz-weiß oder schwarz-bräunlich, glitzernd.

Marmor: Metamorpher Kalkstein, glitzernd, meist weiß oder hellbraun, hellgeGem braust mit Salzsäure, häufig chaotisch verformte Strukturen.

Migmatit: Metamorphes Gestein, das schon teilweise wieder aufgeschmolzen war; typisch ist Lagigkeit und Bänderung von hellen (aufgeschmolzenen) und dunklen (noch nicht aufgeschmolzenen) Bestandteilen; enthält meist Quarz, Feldspäte und Biotit und/oder Amphibol.

Quarzit: Metamorpher Sandstein, meist weißlich bis grünlich, fast nur aus Quarz bestehend, hart und splittrig.

Literatur zur Petrographie, Mineralogie und zu geologischen Karten

NICKEL, E. : Grundwissen in Mineralogie. Teil 1: Grundkursus, 4. Aufl. 1992; Teil 3: Petrographie, 2. Aufl. 1983, Ott-Verlag, Thun.

SCHUMANN, H.: Einführung in die Gesteinswelt. 5. Aufl. 1975, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.

MARESCH, W., MEDENBACH, O. & TROCHIM, H.-D.: Gesteine. Steinbachs Naturführer, Mosaik Verlag, München, 1987.

MATTHES S.: Mineralogie. 5. Aufl. 1996, Springer-Verlag.

WIMMENAUER, W.: Petrographie der magmatischen und metamorphen Gesteine. Enke Verlag, 1985.

VOSSMERBÄUMER, H.: Geologische Karten. Schweizerbarth, Stuttgart, 2. Aufl. 1991

sowie weitere, z. T. sehr schön bebilderte Werke aus verschiedenen Verlagen (BLV, Steinbachs Naturführer usw.)

Paläontologie (M. M.)

Die Paläontologie ist die Wissenschaft vom Leben der Vorzeit. Entsprechend beschäftigt sich die Paläontologie mit Fossilien, d.h. mit den in Steinen erhalten gebliebenen Zeugen vergangenen Lebens. Prinzipiell unterscheidet man zwischen

- Körper-Fossilien (= Reste von Organismen)
- Spuren-Fossilien (= Lebensäußerungen von Organismen)
- Chemo-Fossilien (= organische Substanzen und Element/Isotopen-Verhältnisse, welche mit geochemischen Methoden nachgewiesen werden können)

Disziplinen der Paläontologie sind die **Invertebraten-Paläontologie** (Lehre von den Wirbellosen, z.B. Ammoniten), die **Vertebraten-Paläontologie** (Lehre von den Wirbeltieren, z.B. Dinosaurier), die **Mikro-Paläontologie** (Lehre von den Kleinstlebewesen, z.B. Schalen bestimmter Einzeller), die **Paläobotanik** (Lehre der vorzeitlichen Pflanzen, z.B. bestimmte Schachtelhalme), die **Palynologie** (Lehre der organisch-wandigen Mikrofossilien, z.B. Sporen und Pollen) und die **Molekular-Paläontologie** (Paläobiologie auf molekularer Ebene, z.B. DNS-Analysen).

Mit Ausnahme der Molekular-Paläontologie beschäftigen sich all diese Disziplinen mit der vergleichenden Morphologie von Fossilien (sogen. **Taxonomie** und **Systematik**, d.h. die Wissenschaft von der Gliederung und den Verwandtschaftsverhältnissen der Organismen), mit der Frage wie ausgestorbene Organismen funktioniert haben (= **Konstruktionsmorphologie** bzw. **Funktionstheorie**) und mit der Eigenentwicklung von Organismen (= **Ontogenese**). Weiterhin befassen sich die Disziplinen der Paläontologie mit der Frage nach der Entstehung des Lebens und dessen Entwicklung quer durch die Zeit (= **Evolution**, **Phylogenetik**), mit der paläogeographischen Verbreitung von Fossilien (= **Paläobiogeographie**), mit der Verbreitung von Lebewesen in der Erdgeschichte (= **Biostratigraphie**) und mit den Lebensbedingungen von Fossilien (= **Paläoökologie** oder **Palökologie**).

Bislang sind im phylogenetischen System (**Phylogene**se = **Stammesentwicklung**) ca. 1.500.000 lebende Arten beschrieben worden. Allerdings wird davon ausgegangen, dass tatsächlich ein Vielfaches an Arten existiert (näherungsweise wird von etwa 12.000.000 **terrestrischen, d.h. an Land lebenden** Arten und von ca. 200.000 **marinen, d.h. meeresbewohnenden** Arten ausgegangen). Den artenreichsten Stamm bilden dabei die sogen. Gliederfüßler (= **Arthropoda**, z.B. die Insekten oder die Krebstiere), welche etwa 85 % der bekannten Arten vereinen.

Fossil sind ca. 250.000 Tier- und Pflanzenarten beschrieben worden, also 15 % der insgesamt bekannten und 2 % der tatsächlich heute existierenden.

Für die systematische Betrachtung von Organismen stellt die **Art (= Spezies)** sowohl für die Biologie als auch die Paläontologie die elementare Grundeinheit dar, wobei sich Angehörige einer Art dadurch auszeichnen, dass sie untereinander zeugungsfähige Nachkommen reproduzieren können. Naturgemäß läßt sich diese Bedingung an Fossilien nicht mehr überprüfen, weswegen die Paläontologie auf detaillierte morphologische Beobachtungen angewiesen ist und daher nicht mit „echten“ Arten arbeiten kann sondern ausschließlich mit sogen. **Morphospezies**. Das **Regnum (= Reich)** stellt die ranghöchste systematische Einheit für alle Lebewesen auf unserem Planeten dar. Traditionell werden alle Lebensformen fünf verschiedenen Reichen zugeordnet:

- Archae- und Eubakterien (einzellige Lebewesen ohne Zellkern)
- Protisten (autotrophe und heterotrophe Einzeller mit Zellkern)
- Fungi (Pilze)
- Plantae (Pflanzen)
- Animalia (Tiere)

Neuere Resultate der Molekular-Paläontologie zeigen aber, dass das Leben nur drei verschiedenen Reichen angehört:

- Bacteria
- Archaea
- Eucarya

Zu den Eucarya zählen neben den Protisten und Pilzen auch die Pflanzen und Tiere (also auch der Mensch). Im nachfolgenden sollen die systematischen Einheiten des Lebens zwischen dem Reich und der kleinsten Einheit, der Art, am Beispiel des Menschen (*Homo sapiens*) dargestellt werden:

Regnum (Reich)	Eucarya
Sub-Regnum (Unter-Reich)	Animalia (Tiere)
Phylum (Stamm)	Chordata (Chordatiere)
Sub-Phylum (Unter-Stamm)	Vertebrata (Wirbeltiere)
Classis (Klasse)	Mammalia (Säugetiere)
Ordo (Ordnung)	Primates (Herrentiere)
Familia (Familie)	Hominidae (Menschenähnliche)
Genus (Gattung)	<i>Homo</i> (Mensch)
Spezies (Art)	<i>sapiens</i> (weise)

Aus der biologischen Artdefinition (s.o.) ergibt sich, dass alle Einheiten über dem Art-Niveau künstlich und damit der subjektiven Auffassung des bearbeitenden Wissenschaftlers unterworfen sind. Als prinzipielles Ordnungskriterium gilt allerdings, dass alle **Stammbäume** die **evolutionären Zusammenhänge** zwischen

den jeweiligen Lebensformen korrekt wiedergeben müssen. Die Taxonomie arbeitet dabei mit unterschiedlichen Methoden und deren Kombinationen, um hierarchische Klassifikationen aufzustellen. Dabei werden morphologische Ähnlichkeiten, möglichst durch Statistik untermauert und phylogenetische Beziehungen berücksichtigt. Andere Methoden, wie z.B. die Kladistik, greifen allein auf phylogenetische Kriterien, wie z.B. **abgeleitete Merkmale** (= **Apomorphien**) oder **primäre, ursprüngliche Merkmale** (= **Plesiomorphien**) zurück.

Von grundsätzlicher Bedeutung für alle paläontologischen Disziplinen ist die **Theorie der biologischen Evolution**. Bereits Jean-Baptiste LAMARCK hatte im Jahre 1809 die Veränderlichkeit der Arten erkannt und versucht diese Erkenntnis durch **aktive Anpassung** (= **Adaption**) der Organismen an sich ändernde Umweltbedingungen und sich daran anschließende Vererbung der resultierenden Merkmale zu erklären. Der sogen „Lamarckismus“ wird heute in seiner ursprünglichen Form abgelehnt. Georges Baron de CUVIER (1769 - 1832) vermutete hingegen in seiner „Katastrophen-Theorie“, dass Arten oder Formen unveränderlich sind und durch plötzliche Ereignisse (Katastrophen) ausgelöscht werden und durch nachfolgende „Neuschöpfung“ neue Formen entstehen. Erst Charles DARWIN gelang es 1859 die Veränderlichkeit der Arten und auf diese einwirkende ökologische Parameter durch die Prozesse der Variation und Selektion in einen sinnvollen Zusammenhang zu stellen. DARWIN beobachtete, dass innerhalb einer Art beträchtliche Variationen auftreten und diese vererbt werden. Weiterhin konnte er feststellen, dass sich Tiere stärker vermehren, als für die Erhaltung ihrer Art notwendig ist und dass sich daraus ein Existenzkampf um Nahrung, Lebensraum und Vermehrung einstellt. Durch diesen Kampf gelingt es nur den erfolgreichsten Tieren ihre Merkmale weiterzuvererben. Durch die Disziplinen wie Genetik, Cytologie, Molekular-Paläontologie und Populations-Biologie wurden nachfolgend große Fortschritte in der Evolutionsforschung gemacht. Diese fanden Eingang in die von DOBZHANSKY (1937) und HUXLEY (1942) veröffentlichten Synthesen, auf denen der sogen. **Neodarwinismus** beruht.

Heute werden Prozesse wie **Mutation, Rekombination, Selektion, Alleldrift** und **Isolation** (Artbildung durch räumliche Trennung = **allopatrisch**) oder ohne räumliche Trennung (= **sympatrisch**) als wichtige Prozesse bei der Artbildung angesehen. Neben der von DARWIN vorgeschlagenen graduellen Artentstehung via Übergangsformen (sogen. „**phyletic gradualism**“), wird heute auch die **Theorie des unterbrochenen Gleichgewichts** diskutiert, nach der sich Arten relativ rasch nach längeren Phasen der Konstanz ohne Übergangsformen bilden können. Die Diskussion über beide Theorien wird momentan kontrovers und sehr leidenschaftlich geführt, sodaß eine definitive Bewertung noch nicht vorgenommen werden kann.

Weiterhin wird heute zwischen einer **Mikroevolution** und einer **Makroevolution** unterschieden. Unter Mikroevolution werden alle Prozesse zusammengefaßt, die innerhalb einer Art ablaufen, bzw. nur geringfügig taxonomische Übergänge betreffen. Die Makroevolution hingegen umfaßt evolutive Prozesse im intraspezifischen Bereich oder sogar taxonomisch höheren Ebenen.

Von großer Bedeutung für das vorzeitliche Leben waren **Aussterbe-Ereignisse**. Hierunter versteht man erdgeschichtlich kurze Phasen von meist wenigen Millionen Jahren, innerhalb derer große Anteile der Lebewelt mehr oder minder gleichzeitig ausstarben. Aussterbe-Ereignisse stellen in der Geschichte des Lebens keine Ausnahme dar, sondern gehören als vielmehr häufiger auftretendes Phänomen zu deren festen Bestandteil (z.B. „**Varanger-Ereignis**“ vor etwa 650 Millionen Jahren oder das größte Massensterben der Erdgeschichte an der Wende **Perm/Trias** vor ca.

248 Millionen Jahren). Als Ursachen werden klimatische Prozesse, **Kontinentverschiebungen**, Rückzug (= **Regression**) der Weltmeere und, besonders für das Aussterbe-Ereignis an der Wende **Kreide/Tertiär** vor etwa 65 Millionen Jahren, **Meteoriten-Einschläge** diskutiert. Für die Evolution stellen Aussterbe-Ereignisse günstige Momente dar, zumal durch sie eine Vielzahl von **ökologischen Nischen** (= Lebensräume) relativ rasch frei wird, die durch nachfolgende **Radiationen** (= explosionsartige Neuentwicklungsphasen des Lebens) mit neuen Formen besetzt werden können. Klassisches Beispiel hierfür ist die Radiation der Säugetiere nach dem Aussterben der Dinosaurier an der Wende Kreide/Tertiär.

Die Biostratigraphie

Die **Stratigraphie** beschäftigt sich mit der Abfolge von Gesteinen, ihrer Klassifikation in Einheiten und ihrer historischen Interpretation. Das stratigraphische Grundgesetz geht auf Nicolaus STENO zurück, der bereits 1669 feststellte, dass in tektonisch ungestörten sedimentären Verbänden die ältesten Schichten zuunterst und die jüngsten zuoberst liegen. Die drei wichtigsten Arbeitsrichtungen der Stratigraphie sind

- Biostratigraphie
- Lithostratigraphie
- Chronostratigraphie

Die **Biostratigraphie**, begründet durch William SMITH im Jahre 1817, definiert stratigraphische Einheiten aufgrund des Fossilinhaltes; die kleinste Einheit ist die **Bio-Zone**.

Die **Lithostratigraphie** stellt stratigraphische Einheiten basierend auf Gesteins-Typen auf; die kleinste Einheit ist logischerweise die **Schicht**.

Die **Chronostratigraphie** befaßt sich mit dem Alter von Schichten; die Basis ist das **Chron**.

Zu den Arbeitsrichtungen der relativen und absoluten geologischen Zeitmessung (Geochronologie) gehören u. a. radiometrische Altersbestimmungen, die Dendrochronologie (Baumringe) und die Magnetostratigraphie. Weiteres Ziel der Stratigraphie ist die Korrelation, d.h. die Parallelisierung von stratigraphischen Einheiten, möglichst global. Nachfolgend sei die Hierarchie der stratigraphischen Einheiten dargestellt:

Chronostratigraphie	Lithostratigraphie	Biostratigraphie	Beispiel
Äon	---	Äonothem	Phanerozoikum
Ära	---	Ärathem	Paläozoikum
Periode	Abteilung	System	Devon
Epoche	Gruppe	Serie	Ober-Devon
Alter	Formation	Stufe	Frasne
Chron	Member	Zone	<i>gigas</i> -Zone
---	Schicht (Horizont)	---	Untere Kellwasserbank

In der Biostratigraphie wird zunächst zwischen **Leitfossilien** und **Faziesfossilien** unterschieden. Leitfossilien sind „leitend“, d.h. zeitlich indikativ für bestimmte Schichten – ihr Vorkommen deutet auf eine bestimmte, definierte geologische

Zeitspannen hin. Gute Leitfossilien sollten im Idealfall folgende Voraussetzungen erfüllen:

- weite geographische Verbreitung
- rasche Evolution mit entsprechender Änderung der Morphologie
- Fazies-Unabhängigkeit
- Merkmalsvielfalt (erleichtert die Bestimmung)
- gute Erhaltungsmöglichkeit

Beispiele für gute Leitfossilien sind die **Trilobiten** (Dreilappkrebse) für das Alt-Paläozoikum (das Paläozoikum umfaßt die Zeit zwischen ca. 570 und 290 Ma) und **Cephalopoden** (Kopffüßer) für das jüngere Paläozoikum und das Mesozoikum (zwischen 290 und ca. 60 Ma).

Faziesfossilien sind dagegen gute Anzeiger für bestimmte Lebensbedingungen und haben meist geringe stratigraphische Bedeutung. Der Begriff „**Fazies**“ beschreibt die Summe aller lithologischen und paläontologischen Merkmale eines Gesteines. Typische Faziesfossilien sind beispielsweise riffbildende Korallen, Muscheln, Brachiopoden (Armfüßer) und Echinodermen (Stachelhäuter).

Die Zone ist die Grundeinheit der Biostratigraphie. Es gibt 4 Typen von Biozonen:

- range zones
- assemblage zones
- peak zones
- interval zones

Die „**range zone**“ umfaßt den Bereich in einem geologischen Profil, indem ein bestimmtes Taxon (z.B. eine bestimmte Art oder Sub-Spezies) vorkommt. Überlappen die Vorkommen mehrerer Taxa, so kann die Zone feiner aufgliedert werden. Die „**assemblage zone**“ ist durch das Vorkommen mehrerer Taxa in bestimmten Schichtabfolgen definiert. Dieser Zonen-Typ ist meist faziesabhängig und wird nur lokal verwendet. Genauso sind „**peak zones**“ eher von lokalem Nutzen. Sie sind durch die maximale Häufigkeit eines Taxons definiert. Als „**interval zone**“ bezeichnet man einen Profilbereich, der durch kein Taxon definiert ist, z.B. den Bereich zwischen zwei range zones.

Die Biostratigraphie beschränkt sich hauptsächlich auf das Phanerozoikum (abgeleitet von dem griechischen Wort phaneros = sichtbar, Zeit seit ca. 570 Ma), denn erst ab der Wende Präkambrium/Kambrium, vor etwa 570 Millionen Jahren, kommen schalentragende Organismen vor. Aus dem Präkambrium sind im wesentlichen sogenannte Stromatolithen (Bauten von Cyanobakterien) und die mutmaßlichen Zysten bestimmte einzelliger Algen (sogen. Acritarchen) bekannt. Daneben existieren noch die Abdrücke und Spuren von Mehrzellern, die unter dem Begriff „**Ediacara-Fossilien**“ bekannt wurden. Es handelt sich hierbei um rätselhafte Organismen, deren biologische Zugehörigkeit bis heute nicht geklärt ist. Es wird sogar vermutet, dass diese Lebewesen möglicherweise keinem der fünf Organismen-Reiche zugeordnet werden können.

Im Kambrium können dann schlagartig annähernd alle Grundbaupläne der Tierstämme nachgewiesen werden. Diese kambrische Radiation wird auch als „**Kambrische Explosion**“ bezeichnet und durch unterschiedliche Theorien erklärt. Die konventionelle Erklärung spricht von einem **ökologischen Vakuum**, d.h. im kambrischen Meer waren Diversität und Konkurrenz extrem gering, so dass sich neue Baupläne rasch etablieren und diversifizieren konnten. Es stellt sich allerdings die Frage, warum eine ähnlich starke Radiation nicht auch bei der Besiedlung des

Festlandes im Silur stattfand. Die sogenannte „**Green-Genes**“-Hypothese geht von einem noch flexibleren Genom der kambrischen Metazoen aus, in dem signifikantere Mutationen eher auftreten konnten. In einer weiteren Hypothese wird die Entstehung von Schalen bei Metazoen als **Schutz vor Räubern** gedeutet, die sich im späten Präkambrium entwickelt haben sollen. Eine vierte Hypothese schließlich beleuchtet den Wechsel des **Meerwasser-Chemismus** und den Übergang von einem präkambrischen „Soda-Ozean“ zum „Chlorid-Ozean“ und deutet die Schalenbildung als Mechanismus der Calcium-Detoxifikation der Zellen.

Wichtige wirbellose Fossilgruppen

Trilobiten (= Dreilapper): Gepanzerte Arthropoden; Panzer gegliedert in 3 Abschnitte: Cephalon (= Kopfschild), Thorax (= Rumpf) und Pygidium (= Schwanzschild); Panzer wurde periodisch abgeworfen (vermutlich ca. 30 „Häutung“ = Ecdysis); Facettenaugen mit max. 15.000 „Linsen“; konnten bis zu 70 cm lang werden; bewohnten küstennahe, gut durchlüftete, flache Meeresbereiche; ernährten sich überwiegend von kleinen Organismen, manche wohl auch Schlammfresser, wenige hingegen echte Räuber; waren nur mäßige Schwimmer ohne Scheren oder sonstige Verteidigungswaffen, daher ziemlich wehrlos. Werden von Nahrungskonkurrenten wie z.B. Brachiopoden und Freßfeinden wie z.B. Cephalopoden immer mehr zurück gedrängt und sterben im Perm (vor ca. 260 Millionen Jahren) aus. Auch der Neuerwerb von Merkmalen (z.B. Einrollungsvermögen zum Schutz vor Feinden, differenzierte Mundwerkzeuge zum Erschließen neuer Nahrungsquellen, lange Stacheln als Schwebehilfen im Wasser) kann den Niedergang nicht mehr aufhalten.

Archaocyathen (= Urbecher): Organismen unsicherer biologischer Zugehörigkeit; kegelförmiges, meist doppelwandiges Kalk-Skelett; Skelett perforiert; konnten mehrere 10er cm groß werden; großer Zentralhohlraum, der an die Schwämme erinnert; lebten im warm-tropischen Meer, zumeist in Wassertiefen zwischen 20 und 30 Meter; häufig mit Blaugrünalgen und Trilobiten vergesellschaftet; mieden die Gesellschaft von Schwämmen (wahrscheinlich Konkurrenz); werden durch Schwämme und Korallen verdrängt und sterben bereits im Mittel-Kambrium (vor ca. 530 Millionen Jahren) aus.

Brachiopoden (= Armfüßer): Morphologisch den Muscheln sehr ähnlich, aber anatomisch grundverschieden; haben zwei Klappen; sind mit einem Stiel am Untergrund festgewachsen; besitzen zwei „Arme“ (= Lophophoren) mit Tentakeln zum Hereinstrudeln der Nahrung; lebten und leben als Strudler am Meeresboden; möglicherweise konnten einige schwimmen; hatten Fische, Krebse u.a. zum Feinde; Tarnung durch Fremdorganismen auf der Schale (z.B. Bewachung durch Schwämme).

Lamellibranchiata (Pelecypoda, Bivalvia = Muscheln): bilateralsymmetrische Weichtiere mit reduziertem Kopf und zweiklappigem Gehäuse; besitzen einen muskulösen Fuß mit dem sie kriechen, springen und bohren können; ernähren sich filternd von Kleinslebewesen; manche (z.B. *Tridacna* sp.) können bis zu 300 Jahre alt werden; leben überwiegend im Bereich der Schelfe, manche aber auch im Tiefseebereich (diese dann Fleischfresser: kleine Krebse, Einzeller); Süßwassermuscheln; selten nutzen sie treibende Gegenstände als „Mitfahrgelegenheit“;

Porifera (Spongia = Schwämme): meeresbewohnende, am Boden lebende Organismen; besitzen kein echtes Gewebe (Nerven-, Muskelgewebe); formen einen großen Zentralhohlraum; ernähren sich strudelnd von Kleinstlebewesen; bilden „Skelette“ mit verschieden geformten Nadeln; konnten Riffe bilden (Schwammstotzen, Malm); bewohnten überwiegend neritische (Flachmeer) Bereiche; vertrugen weder stagnierendes noch zu stark bewegtes Wasser;

Gastropoda (= Schnecken): Weichtiere mit Kopf, Fuß, Eingeweidesack und Mantel; der Mantel bildet ein spiralig gedrehtes oder napfförmiges Gehäuse; leben sowohl im Meer (dort sogar in den Tiefseegräben in z.T. > 6000 Metern Tiefe), im Süßwasser und auf dem Land; sind entweder Vegetarier (= Pflanzenfresser), Carnivoren (= Fleischfresser) oder Omnivoren (= Allesfresser); ernähren sich weidend, beißend, schlingend und saugend; teilweise große Regenerationsfähigkeit des Gehäuses („geflickte“ Schalen bei verunfallten Individuen).

Cephalopoda (= Kopffüßer): Weichtiere mit sehr leistungsfähigen Sinnesorganen (vorallem Augen); leben und lebten ausschließlich im Meer; zu ihnen gehören die größten wirbellosen Tiere (z.B. *Architeuthis* sp. mit bis zu 22 Metern Länge); wichtige Leitfossilien (z.B. sogen. Goniatiten, Ammoniten); bildeten langgestreckte aber auch spiralig gewundene, gekammerte Gehäuse; sie waren keine „Großwildjäger“ sondern eher „Wegelagerer“; schaufelten mit Hilfe einer bestimmten Struktur (sogen. Aptychen) alles greifbare in sich hinein (darunter auch kleinere Artgenossen); wurden von Sauriern, Schildkröten, Krebsen und Fischen bejagt; die Ammoniten besaßen keine Tintenbeutel (daher keine Desorientierung von Feinden möglich); Ammoniten lebten im tieferen Schelfgebiet; meist in bodennähe; Ammoniten starben am Ende der Kreide (vor ca. 65 Millionen Jahren) aus.

Anthozoa (= Korallen i.w.S.; Blumentiere): Niedere Meerestiere, die zu den Nesseltieren (= Cnidaria) gezählt werde; leben in warmen Meeren und treten nur in Polypengestalt auf; becherförmig; Körperhöhle im Inneren von vorspringenden Scheidewänden (= Septen) in Fächer unterteilt; am oberen Rand die sogen. Mundöffnung mit Fangarmen (= Tentakeln); fast alle Korallen sind festgewachsen (= sessil); leben alleine (= solitär) oder in Kolonien, die asexuell durch Knospung der Polypen entstehen; die kolonialen Polypen bilden dabei keine einzelnen Individuen, sondern stehen über ihren Magen-Darmtrakt und das Skelett mit den anderen in Verbindung; bestimmte Korallen kommen bis in 7000 Metern Tiefe und kühleren Regionen vor; riffbildene Korallen leben in Symbiose mit photosynthetischen Einzellern (= Zooxanthellen); geschlechtliche Vermehrung möglich;

Echinodermata (= Stachelhäuter): wirbellose Organismen, die sessil oder pseudoplanktisch leben; ihre Körper sind sternförmig aufgebaut; häufig tragen sie Kalkplatten mit Stacheln; der Grundbauplan zeigt generell eine fünfstrahlige Symmetrie: in der Hauptachse zwischen Mund (unten) und After (oben) liegt der Darm, umfaßt von einem Nervenring von dem fünf radiäre Nervenstränge ausgehen; kennzeichnend ist das Wassergefäßsystem (= Ambulakralsystem); fossil finden sich häufig die Reste von Seelilien (von diesen überwiegend die Stielglieder) aber auch Seeigel und Seesterne).

Die Paläoökologie

Ernst HÄCKEL definierte im Jahre 1866 die „**Ökologie**“ als die Lehre von der Beziehung der Organismen und Organismen-Gemeinschaften zu den äußeren Lebensbedingungen und Gemeinschaftsbedingungen. Demnach ist die **Paläoökologie** die Lehre von Lebens- und Funktionsweisen fossiler Organismen und von der Zusammensetzung ehemaliger Organismen-Gemeinschaften in einer zu rekonstruierenden Umwelt. Innerhalb der Ökologie ist eine zentrale Frage, ob Lebensgemeinschaften tatsächlich integrierte Ansammlungen von Organismen sind, die gemeinschaftlich agieren und reagieren, oder, ob es sich lediglich um zufällige Ansammlungen von Organismen handelt, die dieselben Lebensbedingungen benötigten.

Die Paläoökologie fordert unumgänglich den von Charles LYELL begründeten **Aktualismus** (= Prozesse liefen in der erdgeschichtlichen Vergangenheit genauso ab, wie in der heutigen, modernen Welt) als Grundprinzip. Wichtige Aspekte des Aktualismus sind

- die **Uniformität** der Naturgesetze, der geologisch wichtigen Prozesse und der Prozentraten.
- die **taxonomische Vergleichbarkeit**, d.h. für die Rekonstruktion eines ausgestorbenen Organismus und seines Lebensraumes werden, soweit möglich, die nächsten noch lebenden Verwandten zum Vergleich herangezogen.

Fossile Lebensräume werden häufig in kleinere Bereiche (**Habitate**) untergliedert, die zumeist gleiche oder ähnliche Lebensbedingungen boten. So unterscheidet man bspw. innerhalb des marinen Lebensraumes (Meer) zunächst das **Neritikum** (landnah) und das **Pelagikum** (landfern). Im Neritikum unterscheidet man den **Gezeiten-Bereich** als **Intertidal**, den Bereich darüber als **Supratidal** und jenen darunter als **Subtidal**. Das Neritikum umfaßt den Bereich des **Kontinentalschelfes**. Der **Schelfhang** wird als **Bathyal**, der **Ozeanboden** als **Abyssal** und die **Tiefsee-Bereiche** als **Hadal** bezeichnet. Entsprechend bezeichnet man Organismen, die in diesen Bereichen leben als neritisch, pelagisch, abyssal usw.

Die wichtigsten **Lebensweisen**, die im marinen Milieu verfolgt werden, sind **nektonisch** (frei schwimmend), **planktonisch** (schwebend), **pseudo-planktonisch** (an Treibgut festgeheftet), **epi-benthonisch** (auf dem Sediment lebend) und **endo-benthonisch** (im Sediment lebend). Das Benthos kann weiter in **sessil** (ortsfest) und **vagil** (beweglich) aufgeteilt werden. Weitere Unterteilungen des marinen Bereiches entsprechend den Umweltanforderungen von Organismen bieten Parameter wie die Lichtverfügbarkeit (photisch; aphotisch), die Wellenbewegung (Sturmwellenbasis, Normalwetter-Wellenbasis), die Salinität (stenohalin, euryhalin), die Temperatur- oder Sauerstoffverfügbarkeit (oxisch, anoxisch).

Innerhalb der Paläoökologie versucht die Disziplin der **Konstruktionsmorphologie** die morphologischen Strukturen eines Fossils mit einer bestimmten Funktion in Verbindung zu bringen (z.B. Flügel = Flugorgan). Die Konstruktionsmorphologie geht davon aus, dass morphologische Strukturen eines Organismus Anpassungen an die Umweltbedingungen darstellen, die zunächst **durch Mutation entstanden** und nachfolgend **durch Selektion etabliert** wurden. Problematisch an dieser Vorgehensweise ist jedoch, dass die Funktionslosigkeit eines Organs nicht bewiesen werden kann.

Direkte Beziehungen zwischen Organismen innerhalb einer Fossilgemeinschaft sind nur schwer zu rekonstruieren. Primär handelt es sich dabei um Beziehungen zwischen Individuen verschiedener Arten, die entweder zum Nutzen oder zum Schaden eines

der beteiligten Individuen oder beider sein können. Bei der **Probiose** zieht ein Partner einen Vorteil aus der Beziehung ohne jedoch dem anderen zu schaden. Eine **Antibiose** bedeutet für den einen Partner einen Vorteil, für den anderen einen Schaden. Von **Symbiose** spricht man, wenn die Beziehung für die daran beteiligten Individuen gleichermaßen von Vorteil ist. Häufig ist die Symbiose dahingehend entwickelt, dass beide Individuen voneinander existenziell abhängig sind. Unter **Kommensalismus** versteht man eine nur lose entwickelte Beziehung, bei der ein Partner dem anderen durch seine Anwesenheit bestimmte Tätigkeiten (z.B. Nahrungserwerb) erleichtert. Wesentlich einfacher zu rekonstruieren sind hingegen räumliche Beziehungen zwischen Organismen, z.B. Fälle in denen Organismen andere verdrängt, angebohrt oder überwachsen haben.

Das aussagekräftigste Merkmal einer Fossilgemeinschaft ist die **Diversität**. Man versteht darunter die Anzahl der an der Gemeinschaft beteiligten Arten.

Die Paläoökologie unterscheidet zwei wichtige **Überlebensstrategien** von Organismen: **Opportunistische Arten** (sogen. **r-Strategen**) erzeugen binnen kurzer Zeit eine hohe Anzahl an Nachkommen (**r = Reproduktion**). Die Jugendsterblichkeit ist generell sehr hoch; jedoch garantiert die hohe Individuenzahl den Erhalt der Art. **Gleichgewichtsarten** (sogen. **k-Strategen**) hingegen produzieren nur wenige Nachkommen; die Jugendsterblichkeit ist gering. r-Strategen treten typischerweise in Habitaten mit stark schwankenden Umweltbedingungen auf, während k-Strategen eher für stabile Lebensräume indikativ sind, deren Kapazitäten voll ausgenutzt werden (**k = Kapazität**).

Die Paläobiogeographie

Ein weiterer wichtiger Teil der Paläontologie bildet die Paläobiogeographie, die sich mit der räumlichen Verbreitung ausgestorbener Organismen beschäftigt, und mit den Faktoren, welche die Verteilungsmuster kontrollieren. Mit Hilfe der Paläobiogeographie werden **Faunen- und Floren-Provinzen** erkannt, die von grundlegender Bedeutung für die **Rekonstruktion vorzeitlicher Kontinentpositionen (Paläogeographie)** und die daraus abzuleitende Dynamik von Gebirgsbildungen sind. In Faunen- oder Florenprovinzen sind bestimmte Arten **endemisch**, d.h. sie kommen nur innerhalb der Provinz vor. Arten, die jedoch über Provinzgrenzen hinweg oder gar global vorkommen, werden **kosmopolitisch** genannt. Die **Vikarianz-Biogeographie** beschäftigt sich mit den Prozessen, die zur räumlichen Trennung von Populationen führen. Als Barrieren, die zu solchen Trennungen führen zählen u.a. Gebirgsketten, Meerstraßen und Landbrücken.

Taphonomie (oder: wie entstehen Fossilien ?)

Die sogenannte „**Taphonomie**“ (= Fossilisationslehre) beschäftigt sich mit der **Biostratonomie**, d.h. all jenen Prozessen, die einem Organismus vom Zeitpunkt seines Todes bis zur Einbettung erfährt und mit der **Fossildiagenese** (= Fossilbildung). Die Taphonomie ist für die Paläoökologie sehr wichtig, da durch sie beurteilt werden kann, inwieweit sich eine Fossil-Gemeinschaft von einer ehemaligen Lebens-Gemeinschaft (= Biocoenose) unterscheidet. Fossilgemeinschaften werden als **Thanatocoenosen** (Todes-Gemeinschaften; in situ) und **Taphocoenosen** (Grab-Gemeinschaften; nicht in

situ) untergliedert. Weiterhin gibt der Erhaltungszustand von Fossilien Informationen über die, im zu rekonstruierenden Lebensraum wirkenden Prozesse. Mögliche biostratonomische Prozesse nach dem Tod eines Organismus sind:

- Verwesung (in anoxischen, d.h. sauerstoffarmen Bereichen, Milieus nur teilweise verwirklicht; es Überdauern dann auch häufiger Weichteile)
- Transport (physikalisch, biologisch)
- Sortierung, Einregelung, Einsteuerung
- Korrosion, Abrasion, Lösung
- Bio-Erosion, Inkrustierung

Abhängig vom jeweiligen Bauplan bzw. der jeweiligen Skelett-Organisation (einteilig, massive Skelette von Korallen und Schwämmen, einteilige, baumartige von Bryozoen [= Moostierchen], Einzelschalen von Schnecken und Cephalopoden, zweiklappige Schalen von Muscheln und Brachiopoden und Mehrelement-Skelette von Echinodermen, Trilobiten und Krebsen) wirken die o.g. Prozesse unterschiedlich. Eine weitere wichtige Rolle spielen die Skelett-Mineralogie und die Schalendichte. Zudem sind die Intensität der taphonomischen Vorgänge abhängig vom Lebensraum. Prozesse der Fossilidiagenese umfassen Verfüllung von Hohlräumen im Skelett, Deformation und Zerschneiden durch Kompaktion, Skelett- oder Schalen-Lösung (evtl. Steinkern-Bildung), Rekristallisation der Schale, Entstehung von Karbonat- oder Kieselkonkretionen und Veränderung bzw. Erhaltung der organischen Substanz. Bei einigen dieser Prozesse ist auch die primäre Mineralogie der Skelette von Bedeutung.

Paläontologie ist eine äußerst vielseitige Wissenschaft. Durch die Fragen, die in die Paläontologie herangetragen werden, wird sie zur Schnittstelle für verschiedene naturwissenschaftliche Disziplinen, wie die Chemie, Biologie, Physik/Biomechanik und natürlich für die Wissenschaften der festen Erde. Paläontologie ist dementsprechend nicht losgelöst und unabhängig vom wissenschaftlichen Fortschritt in den anderen Disziplinen, sondern vielmehr integrierendes Moment für fachlich weit voneinander entfernt stehende Disziplinen. Paläontologie zwingt zur Synthese und zur Offenheit gegenüber multi- und interdisziplinären Denkansätzen. Nur dadurch ist ihr möglich, die Fragen nach dem Leben in Raum und Zeit zu beantworten und mögliche Lösungswege für die Probleme der Gegenwart und der Zukunft aufzuzeigen.

Geländearbeit in der Paläontologie

Paläontologie ist ohne fundierte Geländearbeiten undenkbar. Dem Gelände entnimmt der Paläontologe seine Proben und bestimmt bereits vor Ort wichtige Größen, wie z.B. die Sedimentationsbedingungen des jeweiligen Ablagerungsraumes, die für die nachfolgende Rekonstruktion des betreffenden ökologischen Systems unverzichtbar sind.

Große Bedeutung besitzt daher die **Aufnahme von geologischen Profilen**. Gemeint ist damit die konsequente und möglichst detaillierte Beschreibung des zu untersuchenden Gesteinsverbandes. Hierfür wird im Gelände Gesteinsbank für Gesteinsbank vermessen (z.B. ihre Mächtigkeit, d.h. ihre Dicke und ihre Lage im Raum etc. bestimmt), die Art des Gesteines bestimmt (man bezeichnet dies auch als „lithologische Ansprache“), Strukturen im Gestein genau beschrieben, vermessen, gezeichnet und oftmals fotografiert (z.B. gradierte Schichtungen, d.h. kontinuierliche Korngrößenwechsel von grob nach fein), anhand dieser Strukturen

„oben“ und „unten“ bestimmt (sogen. Hangend-Liegend - Kriterien) und konsequent jede Schicht nach ihrem Fossilien durchsucht.

Häufig ergeben sich bereits im Gelände anhand bestimmter Fossilassoziationen wichtige Hinweise auf das ehemalige Ablagerungsmilieu. Auch weitere Parameter, wie z.B. Strömungsrichtungen werden bereits im Gelände mit Hilfe hierfür geeigneter Fossilien (z.B. bestimmte Cephalopoden wie Orthoceren oder Belemniten) bestimmt. Von grundlegender Bedeutung ist hierbei auch die statistische Auswertung der Geländedaten, wobei sich die Paläontologie hier strukturgeologischer Verfahren (sogen. Schmidt'sche Netz) bedient.

Ebenso sind Fossilfunde häufig nur durch die Bestimmung und Auswertung mathematisch definierter Parameter wie Diversität usw. sinnvoll interpretierbar. Mathematische Verfahren, vor allem bestimmte statistische Methoden, sind für die Rekonstruktion komplex miteinander wechselwirkender Ökosysteme unerlässlich. Daher ist es im Gelände notwendig, so viele Daten wie irgendmöglich zu erheben; viele Daten ergeben sich ausschließlich aus dem Zusammenhang des geologischen Profils und sind daher an der isolierten Probe im Labor nicht mehr zu gewinnen.

Literatur zur Paläontologie

GISCHLER, E., NEBELSICK, J., OSCHMANN, W., KORN, D. & WENDT, J. (1998):
Übungen zur Paläontologie der Invertebraten.- 231 S., Tübinger Geowiss. Arbeiten,
Geol. Skripten, Bd. 2, Inst. u. Mus. Geol. Paläont. Tübingen (ISSN: 0953-4921).

KRUMBIEGEL, G. & KRUMBIEGEL, B. (1981): Fossilien der Erdgeschichte.- 406 S.,
Enke (Stuttgart).

LEHMANN, U. & HILLMER, G. (1991): Wirbellose Tiere der Vorzeit.- 283 S., Enke
(Stuttgart).

ZIEGLER, B. (1986): Einführung in die Paläobiologie Teil 1: Allgemeine
Paläontologie.- 248 S., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Stuttgart).

ZIEGLER, B. (1983): Einführung in die Paläobiologie Teil 2: Spezielle Paläontologie -
Protisten, Spongien und Coelenteraten, Mollusken.- 409 S., E. Schweizerbart'sche
Verlagsbuchhandlung (Stuttgart).

ZIEGLER, B. (1998): Einführung in die Paläobiologie Teil 3: Spezielle Paläontologie -
Würmer, Arthropoden, Lophophoraten, Echinodermen.- 666 S., E. Schweizerbart'sche
Verlagsbuchhandlung (Stuttgart).

6. Erklärungen zu den Folien

Vorbemerkung: Jeder Referent dieser Thematik sollte zusätzlich zu dem hier vorgestellten Material noch eine größere Anzahl von Handstücken der wichtigsten vorgestellten Minerale und Gesteine sowie nach Möglichkeit Dias verschiedener geologischer Geländeerscheinungen wie Vulkane, Schrägschichtung, durchschlagende Gänge, Falten usw. einsetzen. Ersteres sollte in jedem geowissenschaftlichen Institut problemlos zu finden sein, letzteres kann bei Bedarf von mir angefordert werden (Prof. G. Markl, Institut für Mineralogie, Wilhelmstraße 56, 72074 Tübingen, markl@uni-tuebingen.de). Ich kann dann Diaduplikate von 36 dafür geeigneten Dias zum Selbstkostenpreis zuschicken (etwa 40.- DM). Zusätzlich nützlich wäre es, einen

Geologen-Kompaß dabei zu haben und den Gebrauch dieses Werkzeugs zu demonstrieren.

1: Nutznießer geowissenschaftlicher Karten

Diese Folie soll zu Beginn demonstrieren, dass nicht nur die grundlagen-orientierte Wissenschaft an geologischen Karten Interesse hat, sondern dass viele Bereiche des wirtschaftlichen Lebens von solchen Karten – natürlich von verschiedenen Typen solcher Karten – abhängen. Hier sind neben geologischen Karten insbesondere bodenkundliche Karten sowie Karten der quartären Sedimente zu nennen, die auf normalen geologischen Karten nicht ausgewiesen werden.

2: Genereller Aufbau einer geologischen Karte

Da eine geologische Karte wichtige Unterschiede zu einer normalen topographischen Karte aufweist, ist hier beschrieben, welche Informationen sich auf einem geologischen Kartenblatt befinden. Daran sollte sich auch eine Schüler-Projekt-Arbeit orientieren, wenn sie eine geologische Kartierung umfaßt.

3: Beispiel für ein Säulenprofil zur Darstellung der Stratigraphie

Je nachdem, wo man sich befindet, wird eine geologische Karte natürlich sehr unterschiedlich ausfallen. Während im Grundgebirge die Stratigraphie normalerweise keine Rolle spielt, ist sie in Sedimenten oder in bodenkundlichen Zusammenhängen sehr wichtig, z. B. um Korrelationen zwischen einzelnen Schichten auch über die Grenzen einer geologischen Karte hinaus erkennen zu können. Ein Beispiel für eine sehr detailliert aufgenommene Stratigraphie zeigt diese Folie. Es ist dabei auch schön zu erkennen, dass neben Informationen zu Schichtmächtigkeiten in eine solche Stratigraphie auch Angaben zur Verwitterungsbeständigkeit eingetragen werden können, indem man einzelne Schichten weiter hervortreten läßt als andere. Der graphische Gesichtspunkt der Unterscheidung und sinnvollen Kennzeichnung einzelner Schichten ist daneben ebenfalls zu berücksichtigen: eine fein waagrecht gebänderte Schicht sollte auf keinen Fall ein Punkt- oder Rautenmuster bekommen!

4: Zusammenhang zwischen geologischer Karte und Profil

Im Gelände kann man ja nur die oberflächlich anstehenden Gesteine auskartieren (es sei denn, man hat als Spezialfall eine Steilwand vor sich – diesen Fall vernachlässigen wir jetzt einmal). Wie diese oben anstehenden Gesteine in der Tiefe weitergehen, ist der Interpretation des Kartierers anheimgestellt. Es gibt jedoch gewisse Fakten, die ein Profil oder ein Schnitt, d. h. eine Abbildung der sich in die Tiefe fortsetzenden Gesteine, berücksichtigen muß. Fall A zeigt das einfach flache Aufeinanderliegen. Hierbei kann man einen sinnvollen Schnitt nur anfertigen, wenn man entweder Beobachtungen aus Bohrungen hat, oder wenn außerhalb des kleinen Kästchens sich z. B. ein Bach durch die obere Schicht hindurchgefressen hat, sodaß man die tieferen Schichten zu Gesicht bekommt, wie dies in E dargestellt ist. Fall B und C zeigen, dass derselbe Geländebefund sehr unterschiedlich in die Tiefe projiziert werden kann. Um hier Anhaltspunkte für die „Wahrheit“ zu bekommen, muß man das sogenannte Einfallen der an der Oberfläche „ausstreichenden“ Schichten mit einem Geologenkompaß messen. Das Einfallen ist die Lage einer Schicht im Raum. In A liegt die Schicht söhlig, der Fallwinkel ist 0° , in B fällt die Schicht nach Osten ein, der Fallwinkel ist 45° , in C fällt die Schicht Saiger ein, der Fallwinkel ist 90° . In D sind die Schichten verfaltet, sodaß sich ihr Fallwinkel systematisch ändert, was man an der Oberfläche an geeigneten Aufschlüssen messen kann (natürlich nicht an Lesesteinen sondern nur am Anstehenden!).

5: Blockbilder zur Verdeutlichung des Zusammenhanges zwischen geologischer Karte und Schnitt/Profil

Diese Folie zeigt anschaulich, wie oberflächlich flach nebeneinander liegende Gesteine sich in die Tiefe hin fortsetzen können, d. h. was für Interpretationsmöglichkeiten es bei der Anfertigung eines Profiles gibt, wenn nur wenig Einfall-Werte als „Kontrollrahmen“ zur Verfügung stehen. A-E zeigen verschieden einfallende und verfaltete Schichten (E wird als isoklinale Verfaltung bezeichnet, wobei Schichten so umgebogen werden, dass sie im Endeffekt wieder parallel zueinander liegen), in F-M sind unverfaltete Schichten mit Diskordanzen gezeigt. Diskordanzen sind sprungartige Änderungen von Gesteinsvorkommen, die durch Störungen (das sind die dicken schwarzen Linien in F-M) erzeugt werden. Diese Störungen wiederum entstehen durch Bewegungen der Gesteine untereinander, z. B. durch Zerbrecen. G wird dabei als eine Abschiebung bezeichnet, H als eine Blattverschiebung, I als ein Graben und M als ein Horst. Die „Versatzmächtigkeit“ ergibt sich aus der Strecke, die man die Gesteine gegeneinander bewegen müßte, um sie wieder in ursprüngliche ungestörte Lage zu bringen.

6: Blockbild einer verfalteten geologischen Struktur

Diese Folie ist die Fortsetzung von D aus Folie 4. Hier sind verfaltete geologische Schichten in einem Blockbild dargestellt, sodaß man den Zusammenhang zwischen Topographie und Geologie erkennen kann. Die wichtigen Begriffe in Zusammenhang mit verfalteten Gesteinen sind dargestellt. Das Streichen gibt die Lage der Faltenachse an, das Einfallen die Lage der Faltenoberfläche im Raum senkrecht zum Streichen. Hat eine Falte eine senkrecht stehende Achsenebene, so ist sie gleichschenkelig, steht die Achsenebene geneigt im Raum, so weist die Falte eine Vergenz auf, wie es gezeigt ist.

7: Überhöhung verzerrt Einfallwinkel

Fertigt man einen Schnitt an, so kann es insbesondere in Gegenden mit wenig Relief nützlich erscheinen, geologische Profile überhöht darzustellen, um sie anschaulicher zu gestalten. Hier ist jedoch Vorsicht geboten, da der Einfallwinkel von Schichten oder Tälern durch die Überhöhung verzerrt wird – man hat dann kein getreues Abbild der Geländedaten mehr!

8: Zeitliche Einordnung geologischer Vorgänge anhand von Diskordanzen

Die Folie zeigt ein sehr komplexes geologisches Profil, auf dem sich die zeitliche Abfolge vieler geologischer Vorgänge verfolgen läßt, indem man sogenannte Diskordanzen, also Unstetigkeiten innerhalb geologischer Einheiten, betrachtet. So durchschlagen z. B. die zwei kleinen, relativ vertikalen Gänge fast alle anderen geologischen Einheiten, sind also jünger als diese. Andererseits werden sie abgeschnitten von unterkarbonischen (beim linken Gang) bzw. von permischen (beim rechten Gang flach liegenden Sedimenten, sind also älter als diese. So kann man eine komplexe geologische Geschichte anhand eines solchen Profiles entschlüsseln.

9: Ausstrichbreiten geologischer Körper auf Karten

Dies ist die Fortführung dessen, was auf Folie 4 gezeigt ist. Da Schichten im Untergrund unterschiedlich einfallen können, kann bei gleicher Schichtmächtigkeit die Breite ihres Oberflächen-Ausbisses sehr unterschiedlich sein. Dies hängt neben dem Einfallen der Schichten auch von der Topographie ab – flache Topographie bedingt breiteren Ausstrich.

10: Quantitative Berechnung von Schichtmächtigkeiten geologischer Körper aus Karten

Das oben Gesagte kann natürlich auch quantifiziert werden. Die Ausstrich (=Ausbiß)breite b ist dabei mit der Schichtmächtigkeit m über die ebenfalls auf der Folie gezeigten Winkelfunktionen verbunden.

11: Interpretative geologische Schnitte

Diese Folie zeigt zwei geologische Schnitte als Beispiel für die Interpretierbarkeit von geologischen Geländeaufnahmen und als Beispiel für die graphische Gestaltung solcher Schnitte. Der Verlauf der Störungen im oberen Profil kann nicht allein aus der Kartierung der direkt darüber liegenden geologischen Einheiten abgeleitet werden, sondern ist entweder mit Hilfe von Daten aus Bohrungen oder aus entfernter liegenden Aufschlüssen (die man dann in den Schnitt hineinprojiziert hat) erstellt.

12: Unterschiedliche Deutung desselben geologischen Befundes am Beispiel einer Lesesteinkartierung

A zeigt die tatsächliche geologische Aufnahme anhand von im Wald und auf Feldern und Wiesen gefundenen Lesesteinen. B, C und D sind daraus abgeleitete, durchaus sehr unterschiedliche Interpretationen. T sind dabei Tonsteine, G gelbe Kalke und K Mergelkalke. Es handelt sich um ein Beispiel aus Franken, bei dem nirgends anstehendes Gestein zu Tage tritt. Mu ist Muschelkalk und So ist Buntsandstein.

13: Unterschiedliche Deutung desselben geologischen Befundes

Die Entwicklung von Theorien aus der Naturbeobachtung läßt sich an diesem Beispiel besonders gut verfolgen, bei dem Basalte flach auf den unterliegenden Gesteinen aufliegen. Je nachdem, wie man sich die Bildung dieser Basalte vorstellte, interpretierte man die Basalte als Reste eines großen Vulkans, als Reste einer Sedimentdecke oder als Kern einer Magmakammer. Geologische Interpretationen können somit auch zeitabhängig sein, da sich Entstehungstheorien mit der Zeit verändern.

14: Unterschiedliche Deutung derselben geologischen Befunde und zeitliche Entwicklung von geologischer Interpretation

Wie auch Folie 13, zeigt sich hier die Veränderung von geologischer Interpretation mit zunehmendem Wissensstand und zunehmender Erfahrung an Beispielen aus Thüringen.

15: Der Kreislauf der Gesteine

Gesteine sind durch Prozesse wie Erosion, Metamorphose und Anatexis (=Aufschmelzung) miteinander verbunden und verändern sich zwar langsam, für den Menschen kaum sichtbar, aber stetig. Neues Material wird – wenn man von dem ständigen Schauer von Mikrometeoriten auf die Erdoberfläche absieht – lediglich aus dem Erdmantel als Magma in oder auf die Erdkruste gebracht.

16: Gliederung der Magmatitbildung

Magmatische Gesteine, also solche, die durch Kristallisation von Gesteinsschmelzen gebildet wurden, kann man nach verschiedenen Kriterien unterteilen und daraus z. T. auch auf ihre Bildungsmechanismen schließen. Plutonite kristallisieren dabei in relativ großer Tiefe aus, Subvulkanite in geringer Tiefe, Vulkanite an der Erdoberfläche. Ein Batholith ist ein großer Magmatit-Körper von meist kartoffelartiger Form, ein

Lakkolith hat mehr Pfannkuchenform. Xenomorph heißt, dass keine gut ausgebildeten Kristalle in dem Gestein vorhanden sind, porphyrisch impliziert, dass große, gut ausgebildete sogenannte Einsprenglingskristalle in einer sehr viel feinkörnigeren Matrix „schwimmen“.

17: Strukturen und Texturen magmatischer Gesteine

Diese Folie illustriert das bei Folie 16 Gesagte.

18: Die wichtigsten magmatischen Gesteine

Dieses sehr vereinfachende Balkendiagramm stellt die plutonischen Gesteine im Kasten den vulkanischen Gesteinen außerhalb des Kastens gegenüber. Übereinander stehende Gesteine haben dabei dieselbe Gesamtgesteinszusammensetzung, entstehen also aus derselben Schmelze, die nur im ersten Fall im Erdinnern, im zweiten Fall an der Erdoberfläche auskristallisiert. Basalt hat somit dieselbe Zusammensetzung wie Gabbro, ist aber viel feinkörniger. Innerhalb des Kastens ist noch der wichtigste Mineralbestand in Abkürzungen erwähnt. Plag=Plagioklas, KFsp=Kalifeldspat, Px=Pyroxen, Ol=Olivin, Magn=Magnetit, Amph=Amphibol, Bio=Biotit, Qz=Quarz, Musc=Muskovit, Neph=Nephelin. Die Erläuterungen zu diesen Mineralien findet man im Text.

19: Streckeisen-Diagramm zur korrekten Klassifikation magmatischer Gesteine

Diese Weiterentwicklung des Balkendiagramms der Folie 18 erlaubt es, jedes magmatische Gestein, das weniger als 90 Vol-% mafische Minerale (das sind dunkle Minerale wie Biotit, Pyroxen, Amphibol sowie als einziges helles Mineral der Calcit) enthält korrekt mit einem Namen zu versehen. In einem beliebigen magmatischen Gestein werden dabei einfach die ungefähren Volumenanteile von Quarz Q, Plagioklas P, Alkalifeldspat A und Foiden F (das ist meist Nephelin) abgeschätzt oder quantitativ bestimmt (durch Auszählen in einem Dünnschliff) und dann in eines der beiden Doppeldreiecke eingezeichnet, ins linke, wenn es ein plutonisches Gestein ist, ins rechte, wenn es sich um einen Vulkanit handelt. Ein Gestein mit keinem Quarz und keinen Foiden z. B. liegt genau auf der Verbindungslinie A-P und wo genau, entscheidet sich aus dem Verhältnis von Alkalifeldspat zu Plagioklas. Ein Granit enthält 20 bis 60 % Quarz und 10-65% Plagioklas. Die nur mit Nummern versehenen Felder betreffen seltene und daher hier außer Acht gelassene Gesteine.

20: Metamorphe Gesteine mit zunehmendem Metamorphosegrad

Hier sieht man, welche Gesteine bei der zunehmenden Metamorphose unterschiedlicher Ausgangsgesteine entstehen. Das Diagramm ist dabei von links nach rechts zu lesen. Zunehmende Metamorphose bedeutet hier generell zunehmende Temperatur, lediglich bei der Metamorphose der Basalte und Gabbros wurde eine druck-betonte Metamorphose (P-betont), die zum Eklogit führt, von einer temperaturbetonten Metamorphose (T-betont), die zum mafischen Granulit führt, unterschieden. Neben zunehmendem Druck und Temperatur ist auch die zunehmende Deformation ein wichtiges Kennzeichen insbesondere hochmetamorpher Gesteine. Granulite können Temperaturen bis zu 1050°C erlebt haben, Gneise sind typisch für Temperaturen zwischen 500 und 700°C, Phyllit zeigen normalerweise Temperaturen zwischen 250 und 400°C an.

21: Härteskala nach MOHS (=Ritzhärte)

Der Mineraloge Mohs hat Anfang des 19. Jahrhunderts eine Skala relativer Härte aufgestellt, die einem erlaubt, Minerale grob nach ihrer Härte zu klassifizieren.

Grundlage der Skala ist einfach, dass ein härteres Mineral ein weicheres ritzt. Talk ist das weichste Mineral überhaupt, Diamant das härteste, und wenn man kleine Probestücke aller 10 Skalenminerale bei sich hat (die es zu kaufen gibt, z. B. bei der Firma Krantz in Bonn), so kann man jedem Mineral eine Härte zuweisen, die auf einem Skalenteil oder zumindest zwischen zwei Skalenmineralen liegt. Die für die Skala verwendeten Minerale sind – von den sehr harten Mineralen einmal abgesehen, relativ häufige Minerale.

22: Bestimmungsgang für gesteinsbildende Minerale

Um aus der Vielzahl der möglichen Minerale das richtige herauszufinden, das man in einem Handstück vor sich hat, empfiehlt sich ein Bestimmungsgang wie der vorliegende (der allerdings auch einige Minerale enthält, die im Text nicht besprochen weil relativ selten sind). Man unterscheidet Minerale dabei zunächst nach ihrer Farbe, dann nach ihrer Spaltbarkeit, ihrer Härte, ihrem Glanz und ihrer Löslichkeit, also alles Eigenschaften, die man leicht und schnell beobachten oder überprüfen kann. Für die wichtigsten gesteinsbildenden Minerale kann man dann relativ schnell zumindest zu einer Eingrenzung der Möglichkeiten kommen, die einem helfen kann, das entsprechende Gestein zu bestimmen und damit geologische Prozesse zu untersuchen.

23: Unterscheidungsmerkmale der salzartigen Minerale

Da salzartige Minerale alle relativ ähnlich aussehen, sind hier noch einmal die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale der wichtigsten Vertreter dieser Gruppe zusammengestellt. X-System steht dabei für Kristallsystem, das aber für die optische Ansprache relativ unwichtig ist (außer bei kub.=kubisch, da diese Minerale schöne regelmäßige Oktaeder und Würfel bilden, was zur Bestimmung herangezogen werden kann). Die Kombination aus Dichte (d. h. Schwere) eines Mineralen, Löslichkeit und Spaltbarkeit erlaubt im allgemeinen eine relativ sichere Bestimmung.