

NATUR-MUSEUM LUZERN

# **Erdkundliche Ausstellung**

Textheft

---

## Impressum:

Permanente erdkundliche Ausstellung im Natur-Museum Luzern

Texte:  
Weltall / Geophysik:  
Dr. Peter Herger

Allgemeine Geologie:  
Dr. Felix Seger  
Jost Kaufmann

Mineralogie:  
Dr. Joseph Bischofberger  
Rudolf Rykart

Paläontologie /  
Regionale Geologie:  
Dr. Felix Seger

Gestaltung: Paul Diethelm  
Eingerichtet: 1976-78

Gestaltung: Dr. Peter Herger  
© Natur-Museum Luzern 1994

---

Dieses Textheft enthält die Texte der erdkundlichen Ausstellung im 1. Stock des Natur-Museums Luzern. Anschriften von Exponaten sind nicht berücksichtigt.

## Weltall

→ *Darstellung: Blick ins Weltall*

Unzählige Sterne kreisen in den Weiten des Alls. Nach Schätzungen sind es über eine Milliarde galaktische Systeme, die ihrerseits wieder Milliarden von Sternen umfassen.

Das Licht, welches in der Sekunde 300'000 km zurücklegt, benötigt Milliarden von Jahren, um das Weltall zu durchmessen. Nach heutigen wissenschaftlichen Erkenntnissen dehnt sich das Weltall mit ungeheurer Geschwindigkeit ständig weiter aus.

Da wir die Distanz weit entfernter galaktischer Systeme abschätzen und auch ihre Geschwindigkeit messen können, mit der sie sich von uns fortbewegen, lässt sich daraus der Zeitpunkt errechnen, zu dem die Entfernung Null war, gewissermassen der Zeitpunkt der Urexplosion: Das Alter des Weltalls beträgt rund 15 Milliarden Jahre.

Eines der Milliarden galaktischen Systeme ist für uns von besonderer Bedeutung. Wir nennen es „unser Milchstrassensystem“, weil ihm nebst unzähligen anderen Sternen auch unsere Sonne mit ihren Planeten angehört. Von der Erde aus erscheint unsere Galaxis als

ein „milchig“ schwach leuchtendes Band, daher der Name „Milchstrasse“.

Unser Milchstrassensystem besteht aus 100 bis 200 Milliarden Einzelsternen. Die Hauptmasse der Sterne ist auf einen linsenförmigen Raum konzentriert, der von einer kugelförmigen Hülle (Halo) von älteren Sternen umgeben ist. Der Durchmesser der Linse beträgt rund 80'000, die grösste Dicke rund 16'000 Lichtjahre. Unser Sonnensystem ist etwa 33'000 Lichtjahre vom Zentrum entfernt. Vergleich: Distanz Erde-Sonne = 8 1/3 Lichtminuten, Erde – Mond = 1.3 Lichtsekunden.

Alle Sterne unserer Milchstrasse rotieren um die zentrale Achse des Systems. Die Umlaufgeschwindigkeit nimmt mit zunehmendem Abstand vom Rotationsmittelpunkt ab. Unsere Sonne braucht für einen Umlauf ca. 250 Millionen Jahre.

Unsere Milchstrasse hat auch Nachbarn, z.B. die beiden Magellanschen Wolken und den Andromedanebel, welche als einzige aussergalaktische Systeme mit blosserem Auge von der Erde aus erkennbar sind.

---

## Sonnensystem

Die nächsten Galaxien sind die beiden Magellanschen Wolken. Ihre Entfernung beträgt rund 180'000 Lichtjahre. Sie sind nur von der Südhalbkugel der Erde aus sichtbar. Von der Nordhalbkugel der Erde aus ist der Andromedanebel in einer Entfernung von rund 2'200'000 Lichtjahren zu sehen.

Im Weltall verlieren unsere irdischen Massstäbe ihren Sinn, es ist für uns nicht mehr fassbar. Unsere Erde ist weniger als ein winziges Staubkorn in einem unvorstellbar grossen System.

→ *Darstellung: Unsere Milchstrasse*

→ *Darstellung: Computer-Programm Weltall und Sonnensystem - Bilder und Daten*

Die Sonne ist ein Stern durchschnittlicher Grösse unter den Milliarden von Sternen unserer Milchstrasse. Wie alle Fixsterne ist sie ein glühender, also selbstleuchtender Gasball. Sie besteht zu 98% aus den Gasen Wasserstoff und Helium.

Im Kern der Sonne herrscht eine Temperatur von rund 15 Millionen Grad Celsius. Hier entsteht durch die Verschmelzung von Wasserstoffkernen Helium. Dies ist im Prinzip derselbe Vorgang, der für Sekundenbruchteile bei der Explosion einer Wasserstoffbombe stattfindet. Die dabei freiwerdende Energie gelangt in der Hauptsache durch Strahlung an die Sonnenoberfläche, in den äussersten Schichten von rund 70'000 km Dicke durch Konvektion, d.h. durch Transport der Gasmassen. An der Oberfläche der Sonne beträgt die Temperatur noch rund 6000°. Hier wird ständig Energie in Form von Strahlung hauptsächlich Licht und Wärme - oder auch als Materie (Sonnenwind) an das All abgegeben. Der Massenverlust der Sonne beträgt über vier Millionen, Tonnen pro Sekunde! Dennoch hat sich die Strahlung der Sonne in den letzten 43 Milliarden Jahren kaum verändert.

2 Milliardstel der ausgesandten Sonnenenergie treffen nach einer achtminütigen Reise den Planeten Erde, spenden hier Licht und

Wärme, verursachen Winde und Stürme, treiben den Wasserkreislauf an und schaffen so eine der wichtigsten Voraussetzungen für das Vorhandensein von Leben.

→ *Darstellung: Sonne und Planeten massstäblich verkleinert*

Sonne und Planeten sind hier im Massstab 1:1'274'200'000 dargestellt, so dass der mittlere Erddurchmesser gerade 1 cm beträgt. Der Durchmesser der Sonne ist 109 mal grösser.

Die Planeten bewegen sich um die Sonne auf nahezu kreisförmigen, mehr oder weniger in einer Ebene liegenden Bahnen.

Zwischen Mars und Jupiter kreist eine grosse Zahl von sehr kleinen Planeten - sogenannte Planetoiden - um die Sonne. Die Bahnen von etwa 1800 Planetoiden sind wohl bekannt, so dass man sie jederzeit wiederfinden kann. Die wirkliche Zahl der Planetoiden ist aber viel grösser. Die meisten von ihnen haben nur wenige Kilometer Durchmesser oder sind noch kleiner.

Ausser den Planetoiden finden wir in unserem Sonnensystem auch Kometen (mit Schweif) und Meteoriten. Die Erde wird ständig von einem Hagel von meist winzigen Meteoriten bombardiert. Die meisten von ihnen verglühen in den

obersten Schichten der Lufthülle der Erde als Sternschnuppen. Gelegentlich schlagen grössere Meteorite auf der Erdoberfläche auf.

→ *Darstellung: Planetenbahnen, projiziert auf Luzern*

Um eine Vorstellung der Planetenbahnen zu vermitteln, sind sie hier auf den Massstab der links gezeigten Modelle reduziert. Wenn diese um die 109 cm grosse Sonnendarstellung kreisen würden, hätten die Umlaufbahnen der Modelle folgende Entfernung vom Natur-Museum:

1	Merkur	45 m
2	Venus	85 m
3	Erde	118 m
4	Mars	179 m
5	Jupiter	611 m
6	Saturn	1119 m
7	Uranus	2254 m
8	Neptun	3530 m
9	Pluto	4635 m

## Die Erde besteht aus Kruste, Mantel und Kern

→ Darstellung 1: Die Zonen des Erdinnern (dreidimensionales Modell)

km unter Meereshöhe	Schicht	Hauptbestandteile	Aggregatzustand
0 - 570	Kruste	Siliziumoxyd	fest
570 - 1200	äusserer Mantel	Siliziumoxyd Aluminiumoxyd Magnesiumoxyd	zähflüssig
1200 - 2900	innerer Mantel	Magnesiumoxyd Siliziumoxyd	flüssig
2900 - 5100	äusserer Kern	Eisen, Nickel	flüssig
5100 - 6400	innerer Kern	Eisen, Nickel	fest

Unsere Kenntnisse vom gegenwärtigen Zustand des Erdinnern verdanken wir hauptsächlich der Erdbebenforschung. Bei einem Erdbeben werden vom Erdbebenherd aus verschiedene Typen von Erschütterungswellen, sogenannte seismische Wellen ausgesandt. Diese breiten sich je nach Wellentypus und Dichte der Materie auf verschiedenen Wegen und mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten aus. Seismische Wellen können bei allmählich ändernder Dichte des durchlaufenden Materials abgelenkt, oder bei

plötzlichen Änderungen der Dichte bei den sogenannten Diskontinuitätsflächen, z.B. zwischen Mantel und Kern, gebrochen werden. In den Erdbebenwarten auf der ganzen Welt werden die von einem Erdbeben eintreffenden seismischen Wellen von speziellen Messinstrumenten, den Seismographen aufgezeichnet. Die Auswertung der Seismogramme erlaubt der Wissenschaft Rückschlüsse auf den Aufbau des Erdinnern.

## Die Erdkruste

Die äusserste Schicht unserer Erde besteht aus einer dünnen Schale von erstarrten Gesteinen. Sie wird als Gesteinshülle oder Lithosphäre bezeichnet.

Unter dem Meer ist die Erdkruste nur 5-10 km, bei den Kontinenten etwa 30 km dick; die grösste Dicke erreicht die Erdkruste mit etwa 70 km bei sehr hohen Gebirgen, wo die Gebirgswurzeln weit in die Tiefe reichen. Bei unserem Erdmodell wäre die Erdkruste an der dünnsten Stelle etwa 0.4 mm, an der dicksten Stelle etwa 6 mm dick.

Die Erdkruste schwimmt auf dem Magma des Mantels. Die dickeren Gesteinsmassen der Kontinente sinken tiefer ein als der dünne Meeresboden mit dem - im Verhältnis zu den Gesteinen leichteren - Meer. Die Kontinente sinken also je nach Mächtigkeit und Belastung verschieden tief ein, vergleichbar mit Eisbergen im Wasser. Verändert sich die Belastung, so wird das Gleichgewicht, die Isostasie, durch Hebung oder Senkung wieder hergestellt.

→ Darstellung: Temperaturen im Erdinnern in der Nähe eines Kontinentalrandes (nach Mac Donald 1971).

→ Darstellung: Schematischer Aufbau der Erdkruste (ca. 100 fach überhöht).

## Kontinente auf Wanderschaft

Die Kontinente der Erde sind nicht unverrückbar, sie können wandern (driften).

→ Darstellung: Lage der Kontinente vor 180, vor 150 Mio. Jahren, heute und in 50 Mio. Jahren.

### Die kühne Idee Wegeners

Von der Ähnlichkeit des Küstenverlaufs beidseits des Atlantiks beeindruckt, forschte der deutsche Geo-Physiker Alfred Wegener (1880-1930) nach den möglichen Ursachen dieses Phänomens. 1912 verkündete er seine kühne Kontinentaldrift-Theorie. Darin behauptete er unter anderem, dass sich Amerika vor Jahrmillionen von Europa und Afrika losgerissen habe und seither nach Westen drifte. Die Theorie Wegeners von der Wanderung der Kontinente wurde damals von den meisten Geologen erbittert bekämpft. Heute wird sie jedoch - in modifizierter Form - durch moderne Untersuchungsmethoden bestätigt (Plattentektonik).

### Die Entstehung der Kontinente

Man nimmt heute an, dass die Entstehung der Kontinente von sogenannten Kontinentalschildern ausging, welche sich gegen Ende des Erdaltertums vor ca. 250 Millionen Jahren zu zwei grossen Landmassen vereinigten: Laurasia (Nordkontinent) und Gondwanaland (Südkontinent). Zwischen den beiden Landmassen lag das Tethys-Meer. Im Laufe weiterer Jahrmillionen zerfielen

Laurasia und Gondwanaland, wobei sich die Bruchstücke zum Teil zu neuen Einheiten verbanden. So riss zum Beispiel Indien von Afrika los, mit dem es zeitweise über Madagaskar noch verbunden war, und wurde an Asien angeschweisst. Dabei entstand die Himala-Gebirgskette. Afrika schob sich gegen Europa und türmte dabei die Alpen auf. Vom Tethys-Meer blieb nur noch ein kleiner Rest, das heutige Mittelmeer.

Vor rund 100 Millionen Jahren trennte sich Amerika von Europa und Afrika. Da der Atlantik etwa 4000 km breit ist, ergibt das eine jährliche Wanderung von rund 4 cm.

#### Wodurch werden die Kontinente bewegt?

Als Antriebskraft für die Verschiebung von Kontinentalschollen kommen vor allem Konvektionsströme im Erdmantel in Frage (Abbildung). Heisses Magma steigt empor, strömt unter der Kruste durch, kühlt sich ab und sinkt wieder in die Tiefe.

→ *3D-Darstellung: Schematischer Schnitt durch die äusseren Zonen der Erde zwischen Südamerika und Afrika, mit Darstellung des mittelatlantischen Rückens, der Subduktionszone und der Konvektionsströme im Erdmantel.*

→ *Darstellung: Grosser rotierender Globus mit Darstellung der kontinentalen ozeanischen Kruste, Verlauf und Charakteristik der Plattengrenzen, Bewegungsrichtung der Platten, aktive und erloschene Vulkane und Erdbebenzentren.*

## Verformungsarten

### • **Faltungen**

Die Bewegung der Kontinentalplatten bewirkt in der Erdkruste gewaltige Zug- und Druckkräfte. Werden durch diese Kräfte Gesteinsschichten zusammengeschoben, so können sie sich in Falten legen.

Eine Aufwölbung wird als Antiklinale (Gewölbe), eine Senkung als Synklinale (Mulde) bezeichnet.

Je stärker die Schichten zusammengeschoben werden, desto höher werden die Falten. Schiefstehende Falten können schliesslich überkippen, so entstehen liegende Falten.

→ *Darstellungen*

### • **Verwerfungen**

Verschieben sich Gesteinsschichten entlang einer Bruchfläche (Spalte), so entsteht eine Verwerfung.

→ *Darstellung von Verwerfungen: Horizontalverschiebung, Auf- bzw. Unterschiebung, Abschiebung, Staffelbruch.*

### • **Deckenbruch**

Werden Gesteinsschichten weit übereinander geschoben, spricht man von einer Überschiebung. Die über die Unterlage hinweggeschobenen Gesteins-

schichten nennt man Überschiebungsdecken.

Der zurückgelegte Weg einer Überschiebungsdecke wird als Schubbahn bezeichnet (oft über 100 km). Durch Erosion isolierte Deckenteile heissen Klippen. In Fenstern wurde der alte Hintergrund durch Erosion freigelegt.

→ *Grossfotos: oben: Verfaltungen im Axenfels am Urnersee; unten: Verwerfung im Rengloch (LU). Mitte: Gesteinsproben mit Faltungen im Kleinen.*

→ *Schnittdarstellung:*

#### **So entstanden unsere Alpen**

Vor rund 250 - 180 Millionen Jahren wurden in verschiedenen flachen Ablagerungsräumen des Tethys-Meeres Sedimente abgelagert: Autochthon, Helvetikum, Penninikum, Ostalpin, Südalpin.

Später wurde dieses Gebiet gedehnt, und es entwickelten sich Schwellen und tiefere Meereströge, in denen eine ozeanische Kruste gebildet wurde. Diese Dehnungsbewegung endete vor rund 100 Mio Jahren.

Dann begann, verursacht durch die Drift von Afrika gegen Europa, der Zusammenschub von Süden her, wobei anfänglich nur die südlichen Teile erfasst wurden.

Durch die Alpen-Hauptfaltung vor 40-38 Mio Jahren wurden die Ablagerungen 3 und 4 als Decken übereinander geschoben. Vor 32 Mio Jahren begann die Hebung der Alpen.

In der letzten Phase der alpinen Faltung vor ca. 20 Mio Jahren wurden entlang der Linie Rhein-Rhone die Helvetischen Decken (2) nach Norden transportiert.

Die autochthonen Sedimente (1) verblieben in ihrer ursprünglichen Lage.

Vor ca. 3 Mio Jahren begann eine neue Hebung der Alpen, welche bis heute andauert. Sie beträgt z.B. im Aarmassiv 0.5 - 1.5 mm pro Jahr.

### Verwitterung

Verwitterung ist der Sammelbegriff für die natürliche Zerstörung der Gesteine an der Erdoberfläche.

#### Chemische Verwitterung

Gewisse Gesteine werden durch Wasser chemisch zerstört, wasserlösliche Mineralbestandteile werden aufgelöst, Eisenverbindungen oxidieren (rosten).

Besonders eindruckliche Beispiele für solche Verwitterungen sind die Höhlen- und Karstbildungen im Schraffenkalk des Höllochs (Muotatal SZ) und der Schraffenfluh (Entlebuch LU).

#### Mechanische Verwitterung

Starke Temperaturschwankungen bedingen einen fortwährenden Wechsel zwischen Ausdehnung und Zusammenziehen der Gesteine. Dadurch entstehen oberflächlich Risse und Spalten, und das Gesteins-Gefüge lockert sich. (Dieser Verwitterungsart kommt auf dem Mond eine grosse Bedeutung zu.)

Wenn Wasser in solche Spalten einsickert und gefriert, übt das entstehende Eis infolge der Volumenvergrösserung eine Sprengwirkung aus. Dadurch werden die Spalten vergrössert. Durch ständige Wiederholung steigert sich die Wirkung dieser Zerstörungsarbeit. (→ *Darstellung*)

→ *Grossfotos: oben Schraffenfluh im Entlebuch, unten Hölloch im Muotatal, Stalaktiten u. Stalagmiten. Dazwischen: Beispiele für chemische Verwitterung an Gips und Kalkstein, Abrasion (Abtragung durch Wind), Erosion (Abtragung durch Wasser).*

### Abtragung

Unter Abtragung verstehen wir die Wegführung der Verwitterungsprodukte.

Im einfachsten Fall gelangen die Gesteinstrümmer allein aufgrund der Schwerkraft in tiefere Lagen (Bergstürze, Rutschungen, Steinschlag).

Meist erfolgt jedoch die Wegführung durch Transportmedien. Als solche kommen in Frage:

**Wasser.** Niederschläge schwemmen gelockertes Material weg. Durch fliessende Gewässer wird die Erdoberfläche ausgefurcht (Erosion), und es entstehen Täler und Schluchten. Mitgeführtes Gesteinsmaterial verstärkt diese Wirkung.

**Gletscher** führen riesige Schuttmassen als Moränen mit sich. Damit hobeln sie Täler aus und schleifen Felsen glatt (Gletscherschliff, Schrammung).

**Winde** wehen je nach Geschwindigkeit kleinere oder grössere Bodenbestandteile weg. Der Wind wirkt vor allem in Wüsten und am Strand als Transportmittel (Wanderdünen).

Ein starker Wind, der in Bodennähe Sand aufwirbelt und mit sich führt, wirkt wie ein Sandstrahlgebläse: Er vermag festes Gestein anzuschleifen (Windschliff an Felsen, alten Burgen, Pyramiden).

→ *Tabelle / Grafik über die Beziehung zwischen Strömungsgeschwindigkeit und Korngrösse der gerade noch mitgeführten Partikel bei Wind- und Wassertransport.*

**Ablagerung**

Wenn die Abtragung der Gebirge nicht durch Gebirgs-Neubildung kompensiert würde, wäre unsere Erde schon längst ein öder, mehr oder weniger flacher Planet ohne Wasserkreislauf und letztlich ohne höhere Formen von Leben, vergleichbar vielleicht mit dem Mars.

Wenn die Strömung des Transportmediums (Wasser, Wind) abnimmt oder ganz aufhört, sinken die mitgeführten Partikel zu Boden und werden abgelagert.

Der Schweizer Geologe Albert Heim (1849 - 1937) berechnete seinerzeit die Ablagerungen der Reuss im Vierwaldstättersee bei Flüelen (UR):

In den Jahren 1851-1878 betrug der Zuwachs des Reussdeltas rund 395 Millionen Kubikmeter. Das ergibt eine durchschnittliche Ablagerung von jährlich 150'000 m<sup>3</sup> oder täglich 410 m<sup>3</sup>.

Bringt man diese Ablagerung in Beziehung zum Einzugsgebiet der Urner Reuss (ca. 1000 km<sup>2</sup>), so ergibt sich ein durchschnittlicher Abtrag in diesem Gebiet von jährlich 0.15 mm, das ist rund 1 mm in 7 Jahren oder 1 cm in 70 Jahren. Seit Gründung der Eidgenossenschaft 1291 wären es rund 10 cm.

→ *Grafische Darstellung:*

*Einzugsgebiet der Reuss, Volumen der Reuss-Ablagerung im Verhältnis zum Gebäude des Natur-Museums: Die Ablagerungen der Reuss hätten damals in 24 Tagen das ganze Natur-Museum gefüllt.*

Noch viel grösser sind die von den Strömen ins Meer beförderten Mengen von Sand, Ton und Schlamm:  
Rhein jährlich 1.7 Mio m<sup>3</sup>, Donau 30.5 Mio m<sup>3</sup>, Mississippi 130 Mio m<sup>3</sup>, Hoangho 260 Mio m<sup>3</sup>.

**Einführung**

Die Erdkruste besteht aus verschiedenen Gesteinen. Nach der Art ihrer Entstehung können wir drei Haupttypen unterscheiden:

Erstarrungsgesteine

(Magmatite) 95 %

Ablagerungsgesteine

(Sedimentite) 1 %

Umwandlungsgesteine

(Metamorphite) 4 %

{Anteile am Aufbau der Erdkruste bis 16 km Tiefe, nach Schumann 1957}.

Die Gesteinsmassen der Erde unterliegen einem ständigen Kreislauf. Dabei werden die drei Gesteinstypen durch geologische Prozesse ineinander übergeführt.

→ *Grafische Darstellung: Kreislauf der Gesteine.*

**Erstarrungsgesteine (= Magmatite)**

Sie sind entstanden durch Erstarrung von glühendem, zähflüssigem Magma, das aus dem Erdinnern (Mantel) stammt.

**Tiefengesteine (Plutonite)**

Erstarrt das Magma bereits in den tiefen Lagen der Erdkruste unter langsamer Abkühlung, so bilden sich mittelkörnige Tiefengesteine. Dabei werden ihre Mineralbestandteile gleichmässig zu sichtbarer Korngrösse ausgebildet. Unser bekanntestes Tiefengestein ist der Granit. Wir finden ihn z.B. am Gotthard, am Montblanc und im Bergeller-Massiv.

**Ganggesteine**

Wenn Magma rasch in Spalten und Rissen emporsteigt, wo es sich schneller abkühlt, können nur kleine Kristalle auswachsen. Beispiele für feinkörnige Ganggesteine sind Aplite (hell) und Lamprophyre (dunkel).

**Ergussgesteine (Vulkanite)**

Oft dringt flüssiges Magma bis an die Erdoberfläche und tritt als Lava aus einem Vulkan aus. Dabei kühlt es sich so rasch ab, dass eine glasige Gesteinsmasse entsteht. Nur die schon vorher im Magma gewachsenen kleinen Kristalle bleiben darin erhalten. Beispiele für Ergussgesteine sind Rhyolith und Basalt.

### Ablagerungsgesteine (= Sedimentite)

Sie sind entstanden durch Verfestigung von abgelagertem Material.

Nach ihrer Entstehung können wir drei Arten von Ablagerungen (Sedimenten) unterscheiden:

**Mechanische Ablagerungen** (Klastische Sedimente) sind entstanden aus Gesteinsmaterial, welches durch mechanische Verwitterung aufbereitet und durch Transportmedien verfrachtet worden ist. Letzter Ablagerungsraum ist meist das Meer. Beispiele: Nagelfluh, Sandstein, Silt, Mergel.

**Chemische Ablagerungen** sind entstanden durch Wieder-Ausfällung gelöster Mineralbestandteile, welche durch chemische Verwitterung von Gesteinen ins Wasser gelangt sind. So entstanden die Gips- und Salzlager bei Rheinfelden und Bex oder die Erzlager in Herznach und am Gonzen.

**Biogene Ablagerungen** sind entstanden durch Anreicherung von Überresten abgestorbener Organismen (Pflanzen, Tiere). Beispiele: Muschelkalk, Kohle.

### Umwandlungsgesteine (= Metamorphite)

Sie sind entstanden durch Umwandlung (Metamorphose) von Gesteinen unter der Einwirkung von Hitze und Druck.

Drei grundlegende Metamorphose-Arten können unterschieden werden:

Die **Regionalmetamorphose** (Thermo-Dynamo-Metamorphose) bringt Oberflächengesteine durch die Vorgänge bei der Gebirgsbildung in grössere Tiefe.

Bei der **regionalen Versenkungs-metamorphose** werden Oberflächengesteine durch mächtige Ablagerungen bedeckt und allmählich in die Tiefe verlagert.

Bei der **Kontaktmetamorphose** kommen bestehende Gesteine mit aufdringendem Magma in Berührung.

Die Wirkung der Metamorphose zeigt sich in einer Umkristallisation (Grössenwachstum) oder chemischen Veränderung der Mineralbestandteile (Mineralumbildung). Dazu kommt bei der Regionalmetamorphose eine Veränderung des Gesteinsgefüges durch gerichteten Druck (Schieferung).

Die Umwandlungsgesteine teilt man entsprechend dem Ausgangsgestein in zwei Gruppen ein:

**Orthogesteine** sind aus Erstarrungsgesteinen entstanden.

Beispiel: Orthogneis (entstanden aus Granit).

**Paragesteine** sind aus Ablagerungsgesteinen entstanden.

Beispiel: Marmor (entstanden aus Kalkstein).



## Gesteine bestehen aus Mineralen

Die meisten Gesteine lassen sich mit physikalischen Methoden (mechanisches Zerkleinern, Aufschlännen, Sieben, Auflösen usw.) in einzelne Minerale zerlegen.

So besteht Granit vor allem aus Quarz, Feldspat und Glimmer.

→ *Darstellung*

Sand vom Napf enthält u.a. Quarz, Magnetit, Granat, Epidot und Spuren von Gold.

→ *Darstellung*

## Systematik der Minerale

Alle Minerale sind aufgebaut aus chemischen Grundstoffen, aus Elementen. Art und Anteil der beteiligten Elemente werden ausgedrückt durch die chemische Formel des Minerals.

Für die meisten Minerale ist der Anteil der Elemente konstant. Beispiele: Calcit  $\text{CaCO}_3$ , Siderit  $\text{FeCO}_3$ , Magnesit  $\text{MgCO}_3$ .

Bei manchen Mineralen können die Anteile der beteiligten Elemente innerhalb gewisser Grenzen schwanken z.B. beim Ankerit mit einer variablen Konzentration von Fe und Mg:  $\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg})(\text{CO}_3)_2$ .

Die Minerale können nach ihrer chemischen Zusammensetzung in Gruppen unterteilt werden.

Eine besondere Stellung nehmen dabei die Minerale der 1. Gruppe ein, die nur aus einem einzigen Grundstoff bestehen, die gediegenen Elemente. Die Minerale aller übrigen Gruppen bestehen aus Verbindungen mehrerer Elemente.

1. Elemente (Metalle, Halbmetalle, Nichtmetalle)
  2. Sulfide
  3. Halogenide
  4. Oxide, Hydroxide
  5. Nitrate, Carbonate, Borate
  6. Sulfate, Chromate, Molybdate, Wolframate
  7. Phosphate, Arsenate, Vanadate, Silikate
- *Darstellung mit Mineralen und Leuchtdioden.*

## Kristallgitter

Bei den meisten Mineralen sind die kleinsten Bausteine gesetzmässig in Form eines Kristallgitters angeordnet; diese Minerale sind kristallin. (→ *Beispiel: Calcit*)

Nur wenige Minerale besitzen keine Gitterstruktur und werden daher als amorph bezeichnet.

(→ *Beispiele: Opal, Bernstein*)

Wir unterscheiden entsprechend ihren Bausteinen drei Arten von Kristallgittern: Atomgitter, Molekülgitter und Ionengitter.

### Atomgitter

Diamantartige Stoffe besitzen ein Atomgitter.

Dieses ist aus gleichen oder verschiedenen Atomen aufgebaut. Atome sind elektrisch neutrale Bausteine. Beispiel: Quarz  $\text{SiO}_2$ . In der Formel ist angedeutet, dass das Zahlenverhältnis zwischen Si-Atomen und O-Atomen 1:2 ist.

### Molekülgitter

Flüchtige Stoffe besitzen ein Molekülgitter.

Dieses ist aus Molekülen aufgebaut. Moleküle sind elektrisch neutrale Bausteine aus gleichen oder verschiedenen Atomen. Beispiel: Schwefel  $\text{S}_8$ . Je acht Schwefelatome bilden ein ringförmiges Molekül.

### Ionengitter

Salzartige Stoffe besitzen ein Ionengitter. Dieses ist aus einfachen oder zusammengesetzten Ionen aufgebaut. Ionen sind positiv oder negativ geladene Bausteine.

Beispiele:

Steinsalz  $\text{NaCl}$ . Positiv geladene Natrium-Ionen ( $\text{Na}^+$ ) und negativ geladene Chlor-Ionen ( $\text{Cl}^-$ ) im Verhältnis 1:1, das Salz ist also elektrisch neutral.

Calcit  $\text{CaCO}_3$ . Doppelt positiv geladene Calcium-Ionen ( $\text{Ca}^{2+}$ ) und doppelt negativ geladene Carbonat-Ionen ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) im Verhältnis 1:1.

## Die Idealkristalle

Alle Kristalle sind aus kleinsten Zellen aufgebaut. Diese Elementarzellen weisen bestimmte Symmetrien auf. Aufgrund dieser Symmetrieelemente lassen sich die Kristalle in 7 Kristallsysteme einordnen. Die Symmetrieelemente lassen sich äusserlich erkennen an den vorhandenen Kristallformen.

Jeder Kristall besteht aus einer Vielzahl von Elementarzellen. Die Form dieser winzigen Elementarzellen entschied bereits über die im millionenfach grösseren Kristall auftretenden Strukturen und Symmetrien.

### Symmetrieelemente

Jeder Symmetrie liegen Drehungen oder Spiegelungen zugrunde.

Symmetrieelemente sind: Drehachsen, Spiegelebenen, Symmetriezentren, Drehspiegelachsen.

Drehachse (= Gyre):

Dreht man einen Körper um einen bestimmten Winkel um die Drehachse, so ist seine neue Lage von der Ausgangslage nicht zu unterscheiden. Je nachdem, wie oft dies bei einer vollen Umdrehung der Fall ist, spricht man von einer 2-, 3-, 4- oder 6-zähligen Drehachse: Di-, Tri-, Tetra- oder Hexagyre. Beispiele: Digyre beim Quader, Tetragyre beim Würfel.

Spiegelebene (= Symmetrieebene)

Sie führt einen Körper durch Spiegelung in sich selber über; sie trennt ihn in zwei gleichwertige seitenverkehrte Hälften. Beispiel: Quader mit drei Spiegelebenen.

### Kristallsysteme

Man unterscheidet 7 Kristallsysteme. Jedes System lässt sich charakterisieren durch einen Grundkörper, der als vergrösserte geometrische Darstellung der winzigen Elementarzelle gelten kann. Die Längenverhältnisse der Achsenabschnitte und die Winkel, die sie miteinander bilden, entscheiden über die Zuordnung des Kristalls zu einem dieser 7 Kristallsysteme. Beispiel: Tetragonaler Grundkörper mit den Achsenabschnitten  $a=b < c$  und den Winkeln  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ .

### Kristallformen

Alle gleichartigen Flächen eines Kristalls bilden zusammen eine Kristallform. Beispiel: Oktaeder mit 8 gleichen Dreiecken.

→ Darstellung: Tabelle der Kristallsysteme mit zugehörigen Modellen der Grundkörper.

## Die Realkristalle

Kristalle waren nicht einfach plötzlich da; sie sind allmählich gewachsen. Die meisten Formen der in der Natur gewachsenen oder künstlich gezüchteten Kristalle weichen mehr oder weniger stark vom Idealmodell ab; sie werden daher als Verzerrungen bezeichnet. Die Bedingungen während des Kristallwachstums haben einen Einfluss auf die äussere Gestalt eines Kristalls (Tracht, Habitus).

### Kristallwachstum

Kristalle können aus einer Schmelze, aus einer dampfförmigen Phase oder aus einer Lösung wachsen. In einem ersten Schritt bilden sich kleine Kristallkeime, in denen die Kristallformen bereits vorgezeichnet sind. An diesen Keimen findet nun eine ständige Substanzanlagerung aus dem umgebenden Medium statt. Dabei werden die kleinsten Bausteine (Atome, Moleküle, Ionen) an der Oberfläche des Kristallgitters angelagert, sodass der Kristall immer weiter wächst, ohne dass sich dabei die Winkel zwischen den Kristallflächen ändern. Bereits Nicolaus Steno erkannte 1669 dieses Gesetz der Winkelkonstanz:

Bei verschiedenen Individuen derselben Kristallart sind die Winkel zwischen gleichen Flächen immer gleich gross. Um einen Kristall zu identifizieren werden deshalb in erster Linie die Winkel zwischen seinen Flächen bestimmt.

### Verzerrungen

Meist wächst ein Kristall nicht nach allen Richtungen gleich schnell; dabei können Verzerrungen auftreten. Die Winkel sind aber immer noch gleich wie in der Idealform.

### Kristalltracht

Die Tracht eines Kristalls gibt uns Auskunft, wie viele und welche Formen am Kristall beteiligt sind.

→ Beispiele:

- verschiedene Trachten beim Bleiglanz: Würfel Oktaeder, Kombination Würfel + Oktaeder.

- Verschiedene Trachten beim Calcit (geordnet nach abnehmender Bildungstemperatur): „Tafelspat“, Rhomboeder, Kombination Rhomboeder + Skalenoeder, Skalenoeder, Kombination flaches Rhomboeder + hexagonales Prisma.

### Kristallhabitus

Bei einer gegebenen Kombination (Tracht) kann die eine oder andere Form überwiegen. Je nachdem erhält der Kristall dadurch - bei gleicher Tracht - ein anderes Aussehen, das heisst einen anderen Habitus.

→ Verschiedene Beispiele.

**Zwillingsbildung**

Wenn zwei Individuen derselben Kristallart gesetzmässig miteinander verwachsen sind, bezeichnet man sie als Zwillinge. Zwillinge lassen sich häufig an einspringenden Winkeln erkennen.

→ *Beispiele: Schwalbenschwanz-Zwillinge beim Gips, Calcit-Zwillinge, Vierlinge beim Adular.*

**Aggregate**

Aggregate sind Anhäufungen von dicht aneinander gedrängten Kristallindividuen, die - im Gegensatz zu den Zwillingen - nicht gesetzmässig miteinander verwachsen sind. Die Ausbildung der üblichen Kristallflächen wird dabei häufig verhindert.

→ *Verschiedene Beispiele.*

**Eigenschaften der Minerale**

Der innere Aufbau der Minerale bestimmt ihre äusserlich feststellbaren Eigenschaften wie z.B. Härte, Spaltbarkeit, Lichtdurchlässigkeit, Glanz, Farbe, Fluoreszenz. Diese Eigenschaften bilden eine wertvolle Hilfe bei der Charakterisierung und Bestimmung der Kristalle.

**Lichtdurchlässigkeit**

Bezüglich Lichtdurchlässigkeit unterscheiden wir zwischen durchsichtigen und undurchsichtigen (opaken) Kristallen. Undurchsichtige Kristalle können, sofern sie genügend dünn sind, trotzdem eine gewisse Lichtmenge durchtreten lassen. Umgekehrt können durchsichtige Minerale undurchsichtig erscheinen, wenn sie aus einer Vielzahl von feinen Körnern bestehen. Spuren von fein verteilten Fremdstoffen können den gleichen Effekt verursachen.

→ *Beispiel: Durchsichtige und undurchsichtige Form von Quarz und Calcit.*

**Glanz**

Fällt auf einen Kristall Licht, wird es an der Oberfläche teilweise reflektiert und bewirkt einen charakteristischen Glanz. Der Name mancher Minerale deutet auf diese Eigenschaft hin.

Bei glatter Oberfläche: Glasglanz, Diamantglanz, Halbmetallglanz, Metallglanz.

Ohne glatte Oberfläche: Fettglanz, Seidenglanz (besonders bei Mineralen mit Faserstruktur), Perlmutterglanz (besonders bei Mineralen mit guter Spaltbarkeit).

Bei feinporöser Oberfläche: matt.

**Farbe**

Manche Minerale besitzen als Folge ihrer chemischen Zusammensetzung eine Eigenfarbe; sie sind idiochromatisch. Allochromatische Minerale sind gefärbt. Die Ursache dieser Färbung kann verschieden sein.

→ *Beispiele: Rotfärbung durch Spuren von Chrom beim Rubin, Blaufärbung durch Säuren von Titan und Eisen beim Saphir, Grünfärbung durch geringe Mengen Chromoxid beim Aquamarin, Rotfärbung durch feinste Hämatitschüppchen beim Eisenkiesel, Braunfärbung durch Einwirkung radioaktiver Strahlen beim Rauchquarz.*

**Brechung**

Beim Eindringen in den Kristall werden die Lichtstrahlen gebrochen. Der Brechungsindex ist ein Mass für diese Lichtbrechung.

**Doppelbrechung**

Bei den meisten Kristallen wird das eindringende Licht gebrochen und in zwei Strahlen aufgeteilt. Ausnahmen bilden die Kristalle des kubischen Systems und die amorphen Stoffe. Betrachtet man einen Gegenstand durch einen Calcit-Kristall hindurch, sind zwei Abbildungen erkennbar.

**Härte**

Je nach Härte eines Minerals kann seine Oberfläche mehr oder weniger leicht geritzt werden (Ritzhärte).

Härteskala nach Mohs (1822):

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

Vergleichsobjekte:

Fingernagel Härte 2-3, Kupfermünze Härte 3, Taschenmesser Härte 5-6, Fensterglas Härte 5-6.

Bestimmung der Härte am Beispiel des Bleiglanzes: Bleiglanz ritzt Gips (Härte 2) und weniger harte Minerale. Bleiglanz wird von Calcit (Härte 3) und härteren Mineralen geritzt. Die Härte des Bleiglanzes liegt daher zwischen 2 und 3.

**Spaltbarkeit**

Viele Minerale werden bei mechanischen Einwirkungen (Druck, Zug, Schlag) entlang bestimmter Ebenen gespalten. Die Endung „-spat“ in vielen Kristallnamen weist auf eine besonders ausgeprägte Spaltbarkeit hin. Minerale mit deutlich erkennbaren Spaltflächen sind z.B. Glimmer, Calcit (Kalkspat), Gips, Fluorit (= Flussspat).

**Fluoreszenz**

Manche Kristalle besitzen die Eigenschaft, dass sie bei Bestrahlung mit dem für unser Auge unsichtbaren ultravioletten Licht (UV) in einer charakteristischen Farbe aufleuchten. Diese Erscheinung nennen wir Fluoreszenz.

→ *Versuchsanordnung mit Mineralen im UV Licht.*

**Alpine Zerrklüfte**

Alpine Zerrklüfte sind Hohlräume, die sich in den Gesteinen unserer Alpen gebildet haben. Sie entstanden in grossen Tiefen unter dem Einfluss der gebirgsbildenden Kräfte, die auftretende Risse langsam geöffnet haben.

Die Klüfte entstanden vor allem dort, wo der plastischen Verformung der Gesteinsmassen Hindernisse entgegenwirken (z.B. bei Kontaktzonen, durch bereits vorhandene Quarzadern). Senkrecht zum Kluftriss weist das Gestein eine Schieferung auf. Eine Zerrklüft wird manchmal durch eine deutliche Einschnürung dieser Schieferung angezeigt.

Die Risse und Klüfte im Gestein füllten sich während der langsamen Öffnung mit heissen wässrigen Lösungen (hydrothermale Lösungen). Im Innern der Gebirge herrschten Drücke von 1000 bis 3000 Bar und Temperaturen von 300° bis ca. 450 °C. Die hydrothermalen Lösungen enthielten gelöste Mineralsubstanz, die während der Abkühlung und Druckentspannung in den Klufträumen langsam auskristallisierte.

**Kluftumgebendes Gestein (Muttergestein)**

Während die Kristalle in der Klüft langsam aus der hydrothermalen Lösung auskristallisierten, wurde gleichzeitig das kluftumgebende Gestein ausgelaugt. Dieses Nebengestein zeigt daher häufig ein bleiches, poröses Aussehen. Ein grosser Teil der Mineralsubstanz einer Klüft entstammt also dem kluftnahen Gestein.

**Mineralgesellschaften (Paragenese)**

Die Ausbildung und Zusammensetzung des Mineral-Inhaltes einer alpinen Zerrklüft ist abhängig von verschiedenen Milieufaktoren: Temperatur, Druck, chemische Zusammensetzung des Nebengesteins, Löslichkeit der verschiedenen Minerale, chemische Zusammensetzung der Klüftlösung.

**Kristallsukzessionen**

Häufig bildeten sich in einer Klüft mehrere Generationen von Kristallen aus. Gründe dafür waren z.B. Veränderung der hydrothermalen Lösung oder unterschiedliche Löslichkeiten. Oft sind die jüngeren auf den älteren Kristallen aufgewachsen.

**Phantomquarz**

Die Phantombildungen bei alpinen Quarzen sind durch Ablagerungen von artfremden Mineralen entstanden: Auf den nach oben gerichteten Flächen des ursprünglichen Quarzes setzte sich Chloritstaub ab, der vom weiterwachsenden Wirtkristall eingeschlossen wurde. So lassen sich im

Kristallinnern die Umriss des ursprünglichen Quarzes (Jugendform) heute noch erkennen.

#### Auflösungserscheinungen

Der früher gewachsene Quarzkristall wurde vermutlich durch eine Veränderung der Mutterlauge teilweise wieder aufgelöst. Trotz der starken Verätzung ist die Form des ursprünglichen Quarzes noch deutlich erkennbar.

#### Regenerierte Bruchflächen

Durch gebirgsbildende Kräfte brachen manchmal einzelne Quarzkristalle einer Kluft ab. Diese Bruchstücke lagen nachher in der hydrothermalen Lösung und wuchsen weiter. Dadurch konnte die Bruchfläche wieder verheilen und teilweise zu einer zweiten Kristallspitze auswachsen.

#### Fadenquarz

Im Innern der Fadenquarze ist ein milchiger Faden sichtbar. Dieser stellt ein ursprünglich stengeliges Aggregat dar, das sich während des Auseinanderweichens der Kluftwände bildete und von dem aus später der Kristall weiterwachsen konnte.

#### Einschlüsse

Einschlüsse sind Minerale, die von einem andern Kristall umwachsen und eingeschlossen wurden. Dadurch sind sie in unveränderter Form und Schönheit bis heute erhalten geblieben.

#### Einfluss des Schwerefeldes

Der Dauphiné- oder Windgällen-Habitus beim Quarz ist häufig bei Kristallen ausgebildet, deren c-Achsen in der Kluft ungefähr waagrecht standen. Die grossen Flächen bildeten sich auf der langsamer gewachsenen Unterseite der Kristalle.

#### Typische alpine Pseudomorphose

Siderit  $\text{FeCO}_3$  kann bei Kontakt mit der Luft und Feuchtigkeit oxidiert und zersetzt werden. Dabei kann aber das Mineral seine äussere Kristallform trotz der chemischen Veränderung beibehalten. Der Siderit aus dem N2-Gotthardtunnel hat seine ursprüngliche schwach gelbe bis graue Farbe beibehalten, während der andere Vertreter in braunen Goethit  $\text{FeOOH}$  umgewandelt worden ist.

#### Rauchquarz

Voraussetzung für die Braunfärbung des Rauchquarzes ist ein Gitterdefekt; im Quarzgitter ist ein Bruchteil der Siliciumatome durch Aluminium/Lithium-Paare ersetzt. Die Braunfärbung wurde unterhalb von  $180^\circ\text{C}$  durch radioaktive Bestrahlung aus dem umgebenden Gestein erzeugt. Diese Bestrahlung konnte so intensiv sein, dass der Quarz heute beinahe schwarz erscheint; er wird dann als Morion bezeichnet.

#### Bildungstemperatur

Der Habitus bestimmter Minerale kann je nach Fundgebiet verschieden sein; dafür ist häufig die Bildungstemperatur verantwortlich.

Beispiele aus dem Gebiet der Schweizer Alpen sind etwa:

	Temperatur	
	höher	tiefere
Quarz	Tessiner Habitus	Prismatischer Habitus
Adular	Fibbia-Habitus	Maderaner-Habitus
Plagioklas	Periklin-Habitus	Albit-Habitus

#### Wachstumsbehinderung

*Beispiel 1:* Der ursprünglich vorhandene Tafelspat wurde vom Quarz überwachsen und später wieder herausgelöst, so dass heute ein Negativ der ursprünglichen Form erkennbar ist. Eine später aufgewachsene Quarzgeneration ist als violetter Amethyst ausgebildet, eine in den Alpen eher seltene Quarzvarietät.

*Beispiel 2:* Auf einer ersten Quarzgeneration wurde ein Carbonatmineral als Sediment ausgeschieden. Dadurch wurde der Quarz auf der oberen Seite am Wachstum behindert, konnte aber auf der unteren Seite weiterwachsen und sogar die Spitze von unten her überdecken. Das isolierende Carbonat wurde schliesslich wieder weggelöst.

#### Zusammenhang zwischen Paragenese und Nebengestein

Titanhaltige Minerale kommen in den Tiefengesteinen der Alpen normalerweise als Titanit  $\text{CaTi}(\text{O}/\text{SiO}_4)$  vor. In den metamorphen Gesteinen findet man die Titanoxide Rutil, Anatas und Brookit, die

alle die gleiche chemische Zusammensetzung  $\text{TiO}_2$  besitzen, aber zu verschiedenen Kristallklassen gehören (Erscheinung der Polymorphie).

#### Gwindel

Gwindel sind gewundene oder gedrehte Quarze, bei denen windschiefe Flächen auftreten. Es handelt sich um eine für die alpinen Zerrklüfte charakteristische Aggregatbildung. Sie tritt nur in Tiefengesteinen auf, wo die Quarze nur langsam wachsen konnten. Die Ursache der Verdrehung ist nicht genau bekannt.

#### Sprossenquarze (Artischockenquarze)

Sprossenquarze sind Formen, die sich nicht in Zerrklüften, sondern in senkrechten Quarzgängen ausgebildet haben. Aufgrund ihrer Oberflächenbeschaffenheit werden sie auch als Artischockenquarze bezeichnet.

#### Zepterquarze, Fensterquarze

Bei den Zepterquarzen sind zwei Quarze längs der c-Achse aufeinandergewachsen. Die Zepterform wird besonders deutlich, wenn ein dickerer Kristall auf dem Ende eines dünneren aufgewachsen ist. Der zweite Kristall wuchs meist so schnell, dass sich die Flächen wegen des vorausseilenden Kantenwachstums nur unvollständig ausfüllen konnte (sog. Fensterbildung).

## Einige nichtalpine Minerale

→ *Ausstellung einiger nichtalpiner Minerale*

→ *Darstellung an der Wand zwischen den Fenstern:*

## Tektonik der Schweizer Alpen mit wichtigsten Mineralfundstellen

*Auf Knopfdruck werden auf einer Schweizerkarte mit Leuchtdioden die Fundstellen einiger wichtiger Minerale angezeigt.*

## Der Begründer der modernen Mineralsystematik - ein Luzerner

Der Luzerner Stadtarzt und Naturforscher Moritz Anton Kappeler (1685-1769) gilt als Begründer der modernen Mineral-systematik.

1723 veröffentlichte Kappeler die berühmt gewordene Schrift „Prodromus Crystallographiae“, in der erstmals der Name Kristallographie verwendet wurde. Den Begriff Kristall, bisher nur für Bergkristall (Quarz) verwendet, gebrauchte er im heutigen Sinn, indem er auch andere Körper, welche mit Bergkristall vergleichbare polyedrische Umrisse oder Durchsichtigkeit aufweisen, als Kristall bezeichnete. Mit dem Prodromus ist Kappeler an den Anfang einer Reihe grosser Mineralogen zu stellen.

Kappeler vermachte einen Teil der seltensten Kristalle seiner Sammlung dem Naturforscher Sir John Sloane in London. Diese bildeten den Grundstock der Mineraliensammlung im 1759 eröffneten Britischen Museum.

Ein weiteres Werk Kappelers ist die „Pilati montis historia“. Sie stellt die erste umfassende Monographie eines Schweizer Berges dar.

Zeitgenosse und Freund Kappelers war der Naturforscher Johann Jakob Scheuchzer in Zürich, Mitbegründer der Paläontologie (1672 - 1733).

Kappeler war Mitglied der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, Mitglied der Königlichen Grossbritannischen Gesellschaft der Wissenschaften und gehörte auch dem Grossen Rat des Ortes Luzern an.

## Die steinerne Chronik

Die Geschichte der Erde und des Lebens ist in den Gesteinen wie auf den Seiten einer Chronik festgehalten.

Geologie (Erdwissenschaft) und Paläontologie (Wissenschaft vom Leben der Vorzeit) versuchen gemeinsam, diese oft schwer lesbare und teilweise zerstörte Chronik zu entziffern.

Dem Geologen gelingt es, aus der Lage und der Aufeinanderfolge der Schichten sowie ihrem Fossilgehalt das Alter und die Altersfolge der Sedimente zu bestimmen. Daneben versucht er eine Rekonstruktion von Landschaft und Klima. Der Paläontologe studiert anhand vieler Einzelfunde die stammesgeschichtliche Entwicklung (Phylogenie) der Pflanzen- und Tierwelt und kommt zum Ergebnis, dass im Laufe der Erdgeschichte eine Höherentwicklung (Evolution) stattgefunden hat.

Die nebenstehende 4-teilige Bildgeschichte soll in die dabei verwendeten Untersuchungsmethoden und in die Grundlagen der Stratigraphie (Lagerungslehre) einführen.

### 1) Meeresküste vor etwa 170 Mio Jahren, zur frühen Jura-Zeit (Schnitt)

→ *Darstellung 1*

Ein Fluss baut aus mitgeführtem Gesteinsmaterial ein Delta auf mit unregelmässigen, oft schräg einfallenden Schichten (A+B). Ein Teil des Materials gelangt – je nach Korngrösse – mehr oder weniger weit ins Meer hinaus, vermischt sich mit dort gebildetem Kalkschlamm und setzt sich in horizontalen Schichten ab (C+D). So können altersgleiche Sedimente ganz verschiedene Ausbildung zeigen, von groben Geröllen im Delta (A) bis zu mergeligen Kalken weit draussen im Meer (D).

Im Jura-Meer tummeln sich bodenbewohnende Muscheln und Schnecken neben freischwimmenden Ammoniten und Belemniten (heute ausgestorbene Tintenfische). Die Tiere sinken nach ihrem Tod ins noch weiche Sediment, wodurch ihre Schalen und Gehäuse unter günstigen Bedingungen als Fossilien („Versteinerungen“) erhalten bleiben.

### 2) Gleiche Stelle 35 Mio Jahre später, gegen Ende der Jura-Zeit (Schnitt)

→ *Darstellung 2*

Jüngere Sedimente haben die Älteren Schicht um Schicht überdeckt. (Die ausgezogenen roten Linien gliedern die Schichtabfolge in Abschnitte mit gleichem geologischem Alter).

Durch eine Hebung des Meeresspiegels (oder eine Absenkung des Festlandes) wurde die Küstenlinie im Laufe der Zeit stark landeinwärts verschoben, was die

nach links gewanderten Deltabildungen bezeugen. Als neue Sedimenttypen sind hinzugekommen: ein Korallen-Riff (E) und dünnplattige, fossilarme chemische Kalke (F).

Unter den vorkommenden Fossilien finden wir: Leitfossilien, Durchläufer, Faziesfossilien.

Leitfossilien sind auf wenige Schichten begrenzt und erlauben daher Rückschlüsse auf deren Alter. Als Leitfossilien sind Arten mit folgenden Eigenschaften geeignet: zeitlich eng begrenztes Auftreten (1-3 Mio Jahre), häufiges Vorkommen, weite geographische Verbreitung, gute Bestimmbarkeit.

Als Durchläufer werden Fossilien bezeichnet, die in allen dargestellten Schichten vorkommen und daher für eine Feindatierung ungeeignet sind. Faziesfossilien sind Anzeiger für ganz bestimmte Lebens- und Sedimentationsbedingungen, z.B. Korallen für warmes Flachmeer, dickschalige Muscheln für Brandungszonen. Faziesfossilien können zugleich Leitfossilien oder Durchläufer sein.

### 3) Heutiges Gebirge, durch Hebung und Faltung der in Bild 1 und 2 vorgestellten Sedimente der Jura-Zeit entstanden

→ *Darstellung 3*

Pflanzenbewuchs und Schutt bedecken grosse Teile des Berges. Nur an wenigen Stellen liegen grössere Partien frei, die einen Einblick in die Schichtabfolge ermöglichen. Diese freiliegenden Gesteinspartien werden vom Geologen als „Anstehendes“ bezeichnet.

### 4) Blick ins Feldbuch eines Geologen

→ *Darstellung 4*

Der Geologe hat an vier Stellen die anstehenden Gesteinsfolgen untersucht, Profile aufgenommen und seine Beobachtungen ins Feldbuch eingetragen: Gesteinsabfolge, Dicke der Schichten, Gesteinsart, vorkommende Fossilien sowie eine Bemerkung über die vermutliche Verfaltung der Schichten (links unten).

Vergleichende Untersuchungen erbrachten den Beweis, dass Profil 1 auf dem Kopf steht. Die Leitfossilien ermöglichten eine Untergliederung der 4 Profile in drei Abschnitte, die nach den paläontologischen Bestimmungen zur Jurazeit gehören (195-135 Mio Jahre vor unserer Zeitrechnung).

Die rechte Seite des Feldbuches zeigt den Versuch, anhand von nur vier Profilen den früheren Ablagerungsraum zu rekonstruieren. Vergleiche die Rekonstruktion mit Bild 2!

In den Profilbeschreibungen verwendet der Geologe anstelle von Farben international gebräuchliche Gesteins-Signaturen. Diese sind dem Aussehen des Gesteins und dessen Lagerungsform (massig, schichtig, schiefrig) möglichst angepasst.

## Relative Datierung

### Biostratigraphische Methode

Die Untersuchung der Altersabfolge von Gesteinsschichten nach der biostratigraphischen Methode stützt sich auf Leitfossilien.

Die gefundenen Fossilien werden mit bereits bekannten von anderen Fundstellen verglichen. Weisen z.B. zwei Fundschichten gleiche Leitfossilien auf, sind sie auch gleich alt.

Durch Vergleich verschiedener Einzelprofile kann ein lückenloses zusammengesetztes Profil konstruiert werden. Ordnet man den Gesteinsschichten in einem solchen Profil die Zeitabschnitte zu, in denen sie entstanden sind, so erhält man die geologische Zeittabelle (vgl. Darstellung vis à vis).

→ *Grafik: Altersvergleich aufgrund von Leitfossilien.*

### Lithostratigraphische Methode

Bei dieser Methode wird die Altersabfolge aus den Lagerungsbeziehungen der Gesteine abgeleitet.

Gewisse Strukturen im Sediment (Schrägschichtung, Übergang fein zu grob usw.) erlauben es festzustellen, ob eine Schicht normal oder verkehrt liegt. Auch Form und räumliche Anordnung der Gesteine (z.B. ausgefüllte Rinnen oder Spalten) geben oft Aufschluss über ihre zeitliche Aufeinanderfolge.

Da oft Fossilien fehlen oder durch gebirgsbildende Vorgänge unkenntlich geworden sind, stützt sich die relative Datierung meist auf lithostratigraphische Kriterien.

→ *Grafik: 5 Beispiele + Test.*

## Absolute Datierung

Die absolute Datierung von Gesteinen erfolgt nach der radio-metrischen Methode. Sie basiert auf den Gesetzen des radioaktiven Zerfalls.

Viele Minerale, aber auch alle Organismen, enthalten radioaktive Bestandteile. Diese stellen gewissermassen eingebaute „Uhren“ dar welche eine Altersbestimmung ermöglichen.

Jedes radioaktive Element (bzw. Isotop) zerfällt, unabhängig von äusseren Einflüssen wie Hitze, Druck usw., innerhalb einer bestimmten Zeit. Dieser Zerfall erfolgt unter Aussendung radioaktiver Strahlen (Alpha-, Beta-, Gammastrahlen). Er führt - meist über eine Reihe instabiler Zwischenprodukte - zu einem stabilen Endprodukt, welches nicht mehr radioaktiv ist. Die Geschwindigkeit des Zerfalls wird durch die Halbwertszeit HZ ausgedrückt: innerhalb der HZ zerfällt ein radioaktiver Stoff zur Hälfte; von der verbleibenden Hälfte zerfällt innerhalb der nächsten HZ wiederum die Hälfte usw. Dieses Gesetz des radioaktiven Zerfalls kann wie folgt grafisch dargestellt werden:

Grafik: Kurve des radioaktiven Zerfalls.

Beispiele:

Radioaktives Isotop	Halbwertszeit HZ in Jahren	stabiles Endprodukt
Rubidium <sup>87</sup>	50'000'000'000	Strontium <sup>87</sup>
Uran <sup>235</sup>	713'000'000	Blei <sup>207</sup>
Kohlenstoff <sup>14</sup>	5'730	Stickstoff <sup>14</sup>

Unter gewissen Voraussetzungen lässt sich aus dem Mengenverhältnis zwischen radioaktiver Muttersubstanz und Zerfallsprodukt das Alter eines Gesteins errechnen.

Die radiometrische Methode findet vor allem Anwendung bei der Datierung von Mineralen aus Erstarrungs- und Umwandlungsgesteinen.

### Demonstration: Messung der natürlichen Radioaktivität von Gesteinen

Mit Hilfe geeigneter Messinstrumente können radioaktive Strahlen (Alpha-, Beta- oder Gammastrahlen) nachgewiesen werden, so zum Beispiel mit dem hier gezeigten Geiger-Müller-Zählrohr.

Die durch das runde Fenster ins Zählrohr gelangenden Strahlen lösen dort elektrische Entladungen aus, die wir als „Knacken“ im Lautsprecher hören können. Der Zeiger gibt auf der Skala die Strahlungsrate in Einschlägen pro Sekunde (counts per second) an.

Versuchsanleitung:

Auf Knopfdruck wird die Apparatur eingeschaltet, und es werden Gesteinsproben unterschiedlicher Radioaktivität am Zählrohr vorbeigeführt. Hinweis: Auch ohne radioaktive Gesteine misst das Zählrohr vereinzelte Einschläge. Es handelt sich dabei um die natürliche Grundstrahlung, der wir ständig ausgesetzt sind (vor allem kosmische Strahlung).

→ *Versuchsanordnung: Geiger-Müller Zählrohr und rotierendes Rad mit fünf Gesteinsproben.*

## Geologische Schichten- und Zeitenfolge Geschichte der Erde und des Lebens

→ *In der Ecke des Raumes: Grafische Darstellung der geologischen Schichten- und Zeitenfolge (oben) und der Geschichte der Erde und des Lebens (unten).*

*Im „Geologischen Kalender“ wo die 1.4 Mia Jahre Erdgeschichte auf ein Jahr projiziert werden, bedeutet 1 Tag = 12.3 Mio Jahre.*

## Was sind Fossilien?

Fossilien, auch Versteinerungen genannt, sind Überreste oder Spuren von Lebewesen vergangener Zeiten.

Die Erhaltung eines Lebewesens als Fossil ist nicht die Regel, sondern die Ausnahme. Die meisten Organismen verschwinden als Folge natürlicher Vorgänge spurlos. Gelegentlich bleiben unter günstigen Umständen fossile Spuren oder Überreste erhalten: von Pflanzen Abdrücke, von Tieren Hartteile wie Knochen oder Schalen. Die vollständige Erhaltung eines Lebewesens als Fossil ist ausserordentlich selten.

Die Fossilisation erfolgt nur bei rascher Einbettung im Sediment, womöglich unter Luftabschluss. Da die Weichteile von Tieren meist rasch durch chemische und biologische Prozesse zersetzt werden bleiben in der Regel nur folgende Hartteile erhalten:

- Zähne, Knochen, Schuppen bei Wirbeltieren wie z.B. Fische, Saurier.
- Sklerotinpanzer bei Gliederfüsslern wie z.B. Krebse, Insekten.
- Kalkige oder kieselige Gehäuse und Innenskelette bei andern wirbellosen Tieren wie z.B. Muscheln, Seeigel.



Viele Tiere aber (z.B. Würmer) besitzen kein Stützskelett aus Hartteilen. Von ihren Vorfahren finden wir daher praktisch keine versteinerten Belege. Da auf dem Grunde von Gewässern die Voraussetzungen für eine Fossilisation besser sind als auf dem Lande, sind gut erhaltene Überreste landbewohnender Lebewesen viel seltener als solche von wasserlebenden Tieren. Nur durch Naturkatastrophen (vulkanische Ascheregen oder Überschwemmungen) wurden manchmal ± vollständige Skelette oder Abdrücke überliefert. Gelegentlich findet man vollständig erhaltene Tiere oder Pflanzen bei der Konservierung in Eis oder Baumharz (Bernstein).

#### Mikrofossilien

Manche Fossilien sind so klein, dass sie nur bei starker Vergrößerung unter der Lupe oder dem Mikroskop sichtbar sind. Zu diesen Mikrofossilien gehören Skelette von Urtierchen (Foraminiferen, Radiolarien) und Algen sowie kleine Schalenkrebse (Ostracoden). Auch Pollen und Sporen von Pflanzen zählen dazu. Da zur Datierung von Gesteinsschichten z. B. bei einer Erdölbohrung, oft keine grossen Fossilien (Makrofossilien) zur Verfügung stehen, stützt sich die biologische Altersbestimmung heute mehrheitlich auf Mikrofossilien.

#### Spurenfossilien

Sie gehen auf die Lebenstätigkeit von Tieren zurück, ohne diese selbst zu überliefern. Typische Beispiele sind: Fossile Kriechspuren, Fährten und Fussabdrücke, Bohrgänge von Muscheln, Fressspuren mariner Würmer, versteinertes Kot.

#### Pseudofossilien

Pseudo- oder Scheinfossilien täuschen Versteinerungen von Pflanzen oder Tieren vor, sind aber in Wirklichkeit Zufallsgebilde der Natur, deren Form nichts mit früheren Lebewesen zu tun hat. Meist handelt es sich um Konkretionen (z.B. „Lössmännchen“) oder Ausblühungen von Mineralen (z.B. Dendriten).

### Schema der Fossilisation am Beispiel einer Muschel (→ Grafik)

**Tod / Verwesung** → A,B

#### A) Einbettung an Ort und Stelle

Die tote Muschel wird allmählich vom Schlamm zugedeckt. Dieser dringt auch zwischen die Schalen ein und vermischt sich mit den Abbauprodukten des Weichkörpers. Dadurch wird die Ausfüllung später oft härter als das umgebende Sediment → 1,2,3,4

1 Nachdem sich die Schalenausfüllung zum Steinkern verfestigt hat, werden die Schalen langsam aufgelöst. An ihrer Stelle bleibt ein Hohlraum bestehen.

→ **Steinkern** (sehr häufig).

2 Die Schalen werden weggelöst und der entstehende Hohlraum wird vom weiter wachsenden Steinkern ausgefüllt, wobei die äussere Schalenstruktur auf ihm nachgebildet wird. → **Skulptursteinkern** (häufig).

3 Der durch Weglösen der Schalen entstandene Hohlraum um den Steinkern wird mit neuen mineralischen Verbindungen gefüllt. So entsteht eine Nachbildung der ursprünglichen Schalen. → **Pseudomorphose** (selten).

4 Die Schalen bleiben erhalten. Eine geringfügige Umkristallisation oder der Einbau zusätzlicher Minerale („Kieselsäure“, Dolomit, Pyrit usw.) verändert die Struktur der Schalen kaum. → **Echte Versteinerung** (selten).

#### B) Transport

Mögliche Folge des Transportes: Schalen klaffend oder getrennt.

Chemisch-biologische Zersetzung der Schalen durch kalkbohrende Mikroorganismen, Bohrwürmer usw.

Mechanische Zertrümmerung der Schalen durch Sandschliff, Stoss, Schlag.

Die Schalen werden vollständig zerstört und aufgelöst: Im Sediment sind keine Schalentrümmer erkennbar.

An Küsten, im Bereich des Wellenschlages, bildet sich sog. Bruchschill: Das Sediment enthält zusammengeschwemmte Schalentrümmer.

#### Einbettung nach Transport

Zusammenschwemmung von Muschelschalen und Resten anderer Lebewesen zu fossilen Grabgemeinschaften.

Die Fossilien sind meist gleichaltrig. Durch Aufarbeitung von Fossilien aus bereits abgelagerten Sedimenten können aber auch gemischaltrige Grabgemeinschaften entstehen.

Gemeinsame Versteinerung (entsprechend den links beschriebenen Vorgängen).

Da die Muschelschalen beim Transport meist geöffnet oder getrennt worden sind, finden sich nur unvollständige Versteinerungen. Daneben sind auch Schalenabdrücke sehr häufig. → 5,6

### Reise durch Raum und Zeit

5 Gemeinsame Fossilisation von Bodenbewohnern und von schwimmenden Formen, die tot auf den Meeresgrund gesunken sind.

6 Zusammenschwemmung von Muschelschalen, durch die Strömung nach der Grösse sortiert und eingeregelt.

#### Anfang und Ende des Universums (Film)

*Am Anfang war die Zeitlosigkeit. Nach dem Urknall bildeten sich Protonen und Neutronen zum ersten Mal als weitgehend stabile Teilchen. Später stabilisiert sich das Universum und schafft feste Heliumkerne. Protonen fangen Elektronen ein. Junge Riesen-Supernovae entstehen und explodieren zugleich. Erde, Mond, Atmosphäre, DNA und das erste Leben entwickeln sich. Aber die Zeit läuft weiter. Lässt den Menschen und die Erde hinter sich. Die Sonne endet als tote kristalline Kugel. Inmitten der Galaxis herrscht ein grosses schwarzes Loch, das Milliarden von Sternen an sich zieht und verschlingt. Selbst die Zeit bleibt hier stehen. Es sind die gleichen Bedingungen wie zum Beginn der Zeit. Und so, wie die Zeit im Schwarzen Loch endet, kann hier alles wieder von vorne beginnen.*

*Auf einem Monitor läuft der „Geologische Kalender“ mit, wo die Zeit von der Entstehung der Erde vor 4.5 Milliarden Jahren bis heute auf ein Kalenderjahr projiziert wird.*

*Spektrum Videothek (1991), ISBN 3-86025-756-0.*

*Auszeichnungen: Urkunde für hohen Standard, Corporate Video & TCV91, Innovationspreis Deutschland, Österreich, Schweiz. Deutscher Spezialpreis des 16. Tokyo Video Festivals, German Special 1993.*

### Wichtige Makrofossilien

Unter den Makrofossilien sind einstige Meerestiere weitaus am häufigsten. Sie treten überwiegend in Ablagerungsgesteinen auf, also in Kalk, Mergel, Sandstein, Ton usw. Viele dieser Fossilien lassen sich aufgrund ihrer Ähnlichkeit mit den heute lebenden (= rezenten) Formen leicht den entsprechenden Klassen und Ordnungen des Tierreichs zuordnen, so zum Beispiel Schnecken, Muscheln, Seeigeln, Seelilien. Bei fossilen Überresten ausgestorbener Tiergruppen, z.B. den Ammoniten und Belemniten, fällt diese Zuordnung schon schwerer.

Es sind vor allem die wirbellosen Meeresbewohner, die als Leitfossilien eine wichtige Rolle für die Datierung von Gesteinsschichten spielen: Armfüsser (Brachiopoda), Korallen und die heute ausgestorbenen Dreilapper (Trilobita) und Graptolithen sind für die Datierung des Erdalters von Bedeutung. Gesteine des Erdmittelalters - sie machen einen Grossteil unserer Alpen und des Juras aus - lassen sich vor allem durch Leitfossilien aus dem

Stamm der Weichtiere (Mollusca) zeitlich gliedern. Wichtig sind dabei vor allem drei Weichtier-Klassen: Kopffüsser oder Tintenfische, Schnecken und Muscheln. Zum Stamm der Tentakeltiere (Tentaculata) gehören die muschelähnlichen Armfüsser (Brachiopoda) die ebenfalls häufig anzutreffen sind.

Daneben besitzen auch die Stachelhäuter (Echinodermata) eine gewisse Bedeutung, vor allem die Klassen der Seelilien, Seesterne und Seeigel.

Fossilien von Süsswasserbewohnern sind weniger häufig. In der Schweiz sind sie auf geologisch jüngere Schichten, Tertiär und Quartärablagerungen, beschränkt. Meist handelt es sich um Schnecken und Muscheln. Gelegentlich finden sich auch Reste von Landpflanzen. Fossile Knochen und Zähne von Wirbeltieren sind äusserst selten und von hohem wissenschaftlichem Wert.

**Schnecken** (Gastropoda)

Körper gegliedert in Kopf (mit Fühlern und Augen), Fuss (Kriechorgan) und Eingeweidesack mit Mantel. Schale (Gehäuse) aus einem Stück bestehend, gewunden, ungekammert.

Rund 95'000 rezente (heute lebende) Arten, im Meer, Süsswasser oder landlebend.

Fossil seit dem Kambrium.

Bestimmungsmerkmale: Form, Verzierung und Zusammensetzung des Gehäuses. Leitfossilien seit Anfang Tertiär.

**Muscheln** (Bivalvia)

Mit zweiklappiger Schale, rechte und linke Hälfte durch ein elastisches Schlossband verbunden. Ohne Kopf, Augen und Fühler fehlen. Fuss zum Eingraben und zur langsamen Fortbewegung.

Sitzen am Grunde von Gewässern und erzeugen mit den Kiemen einen Wasserstrom, aus dem sie Sauerstoff und Nahrung aufnehmen. Die meisten der rund 11'000 rezenten Arten leben im Meer, nur einige wenige im Süsswasser.

Etwa 15'000 fossile Arten, seit dem Ordovizium.

Bestimmungsmerkmale: Form und Verzierung der Schale, Art des Schlosses (8 Typen), Form der Schliessmuskleindrücke. Von Jura bis Kreide häufig ungleichklappige Formen. Muscheln als Leitfossilien in der Trias und vom Tertiär bis heute.

**Tintenfische** (Cephalopoda)

Kopf mit Augen, am Kopf Arme mit Saugnäpfen. Ein Trichter dient als Rückstoss-Düse beim Schwimmen.

Leben räuberisch im Meer. Sehr gute Schwimmer. 400 rezente, 10'000 fossile Arten.

Wir unterscheiden zwei grosse Gruppen von Tintenfischen:

- Aussenschaler:

Mit äusserer, gekammerter, eingerollter Schale = hydrostatisches System zur Regulierung des Auftriebes (Sinken, Schweben, Steigen) mit Siphon (Hautschlauch von der Wohnkammer durch alle rückwärtigen Kammern). Ammoniten und Nautiliden sind Aussenschaler.

- Innenschaler:

Schale durch Hautfalte überwachsen und zum inneren Stützorgan geworden, z.T. rückgebildet. Hierher gehören die 8-armigen und 10-armigen Tintenfische (inkl. Belemniten).

**Ammoniten**

Vorkommen: Silur - Kreide. Gehäuse normalerweise in einer Ebene eingerollt. Septen kompliziert (Ränder als Lobenlinien auf dem Steinkern sichtbar). Siphon immer randlich. Vereinzelt Riesformen mit Durchmesser bis 2.5 m. Bei einigen Kreide-Formen Entrollung der Schale. Wichtige Leitfossilien Devon bis Kreide.

**Nautiliden**

Vorkommen: Kambrium - heute. Gehäuse ursprünglich gerade gestreckt, später spiralig eingerollt. Septen nach vorne konkav, einfacher Verlauf der Lobenlinien. Glatte oder nur schwach skulpturierte Schale.

**Belemniten**

Vorkommen: Karbon - Eozän. Meist nur Rostren („Donnerkeile“, „Teufelsfinger“) auffindbar, seltener mit Ansatz des Phragmokons. Leitfossilien (z.T. Riesformen bis 2.5 m Länge) Jura bis Untere Kreide.

**Seelilien** (Crinoidea)

Meerestiere, deren Körper in Krone (mit Kelch + Armen) und Stamm (mit Stiel + Wurzel) gegliedert ist. Besitzen ein bewegliches Skelett aus Kalkplatten. Ursprüngliche Formen festsitzend. Die meisten rezenten Arten lösen sich in der Jugend vom Stiel ab und werden freischwimmend. Etwa 630 rezente und 5000 fossile Arten. Seit dem Ordovizium. Bestimmungsmerkmale: Zahl, Anordnung und Form der Kalkplättchen. Blütezeit Devon bis Karbon.

**Seeigel** (Echinoidea)

Kugelige oder scheibenförmige Meeresbewohner mit ausgeprägter 5-strahliger Symmetrie (regulär oder irregulär). Kalkiges, von Haut überzogenes Gehäuse mit beweglichen Stacheln. Fortbewegung mit Hilfe von Ambulakralfüsschen. Rund 860 rezente und 7200 fossile Arten. Seit dem Untersilur. Blüte zur Kreidezeit. Bestimmungsmerkmale: Form und Ausbildung des Gehäuses und der Stacheln.

**Armfüsser** (Brachiopoda)

Mit zweiklappiger Schale, äusserlich muschelähnlich, jedoch Schalenklappen dorsoventral angeordnet (Rücken-/Bauchschild). Mit zwei spiralig aufgerollten Mundarmen, häufig von kalkigen Armgerüsten gestützt.

Mit einem Stiel des Hinterleibs festsitzende Meeresbewohner, 260 rezente, über 7000 fossile Arten.

Die heute noch lebenden Arten sind nur ein kleiner Rest der seit dem Kambrium mächtig entwickelten Tiergruppe.

Bestimmungsmerkmale: Form des Armgerüstes, Bau des Schlosses, Muskel- und Gefässeindrücke; Form, Verzierung und Zusammensetzung der Schale.

Leitfossilien Silur - Jura, besonders im Devon - Karbon.

## Einführung

Granit, Porphy, Kalkstein, Nagelfluh, Sandstein: Eine Vielfalt verschiedener Gesteine prägt die heutige Landschaft der Zentralschweiz. Wie sind sie entstanden? Woher stammen sie? Solche Fragen haben seit jeher den interessierten Naturbeobachter beschäftigt.

Den Schweizer Geologen ist es im Laufe der letzten hundert Jahre gelungen, die einzelnen Baueinheiten unserer Landschaft (= tektonische Einheiten) gegeneinander abzugrenzen und ihre Entstehungsgeschichte zu rekonstruieren. Was heute - als Resultat der Gebirgsbildung - in komplizierter Weise übereinander geschoben und verfaltet ist, lag vor 200 Millionen Jahren noch ungestört nebeneinander auf dem Meeresgrund (siehe Kärtchen).

Die meisten tektonischen Einheiten der Zentralschweiz gehen auf Ablagerungen im Ur-Mittelmeer (Tethys) zurück. Bei der alpinen Gebirgsbildung wurden diese Ablagerungen zusammengestaucht und in mehreren Lagen übereinander geschoben. So entstand ein über 8 km hohes Deckengebirge, wobei die ursprünglich nördlich abgelagerten Partien zu unterst, die südlich abgelagerten zu oberst zu liegen kamen.

Verwitterung und Abtragung reduzierten dieses Hochgebirge schliesslich auf die heutige Höhe. Ein grosser Teil des abgetragenen Materials wurde durch die Flüsse nach Norden transportiert und bildet heute die Molasse-Landschaft des Mittellandes.

## Tektonische Entwicklung

Die nebenstehende Grafik zeigt in mehreren Schritten die tektonische Entwicklung der Zentralschweiz anhand von Profilschnitten entlang einer Linie Sursee (LU) - Andermatt (UR).

→ *Grafik*

### Mittlere Trias

Seit 10 Mio Jahren haben sich im Ur-Mittelmeer Tethys Sandstein und Dolomite der Trias auf dem Meeresgrund abgelagert. Diese Ablagerungen liegen auf dem sogenannten Grundgebirge, dem eingeebneten Rest eines im Oberkarbon vor 310 Mio Jahren aufgefalteten Gebirges.

### Unterer Jura, vor 180 Mio Jahren

Durch das Absinken einzelner Abschnitte des Grundgebirges sind Ablagerungsräume unterschiedlicher Wassertiefe entstanden. Dementsprechend unterscheiden sich auch die darin abgelagerten Sedimente.

### Obere Kreide, vor 70 Mio Jahren

Die von Süden nach Norden fortschreitende Auffaltung der Tethys-Sedimente hat den nordpenninischen Bereich erreicht. Durch submarine Rutschungen von aufgefalteten Inselrücken entsteht Flysch, eine typische Wechsellagerung von Sandstein, Mergel und Schieferthon.

### Oberes Eozän, vor 40 Mio Jahren

Ein Grossteil der zukünftigen Alpen liegt bereits über Wasser und ist damit der Abtragung ausgesetzt. Im verbliebenen Restmeer werden letzte Flysch-Sedimente gebildet. Bereits deuten sich die kommenden Decken-Überschiebungen an.

### Oberes Oligozän, vor 25 Mio Jahren

Durch die Hauptphase der alpinen Faltung sind ultrahelvetische, penninische und ostalpine Decken über den helvetischen Bereich geschoben worden, und zwar mit einer Geschwindigkeit von etwa 5 cm pro Jahr. Diese Bewegungen dauern noch an, wenn auch verlangsamt. Der Verwitterungsschutt der Ur-Alpen wird von den Flüssen abtransportiert und im Vorland als Molasse abgelagert. So entstehen am Alpenrand zum Teil gewaltige Schotterablagerungen, die später zu Nagelfluh erhärten (z.B. Rigi).

### Unteres Miozän, vor 21 Mio Jahren

In Form grosser Überfaltungsdecken werden nun auch die helvetischen Sedimente nach Norden geschoben. Ein Teil ihrer einstigen Unterlage wird in die Tiefe gezogen und „verschluckt“ (subduziert). Seit dem mittleren Oligozän ist eine verstärkte Hebung des Alpenkörpers im Gang, sie beträgt etwa 8 mm pro Jahr. Dies bewirkt eine relativ rasche Abtragung der ostalpinen und penninischen Decken.

### Heutige Tektonik

#### Mittleres Miozän, vor 18 Mio Jahren

Die helvetischen Decken haben beinahe ihre heutige Position erreicht und beginnen einzelne Molasse-Pakete aufzufalten und übereinander zu schieben. Von den ostalpinen Decken ist im Querschnitt Sursee-Andermatt nur noch ein kleiner Rest übrig. Im Bereich des Aar-Massivs verstärkt sich die Hebung.

#### Heute, ca. 2000 n. Chr.

In unserem Querschnitt finden wir heute von der einstigen penninischen Klippendecke nur noch am Stanserhorn letzte Reste, abgesehen von grösseren Gebieten mit penninischem Flysch. Vor etwa 3 Mio Jahren hat sich im Bereich des Aar- und Gotthard-Massivs die Hebung weiter verstärkt. Sie beträgt heute 5-15 mm pro Jahr.

Im nachfolgenden Ausstellungsteil werden nach einer allgemeinen Einführung in den tektonischen Bau der Zentralschweiz die wichtigsten tektonischen Einheiten anhand von ausgesuchten Beispielen näher vorgestellt.

### Pilatus-Geschichte

Der Pilatus spielte im Laufe der Geschichte als Hausberg Luzerns stets eine besondere Rolle. Davon zeugen nicht zuletzt die verschiedenen Sagen und Legenden, die sich um diesen Berg ranken.

Im Mittelalter trug der Pilatus noch den Namen Frakmont (von mons fractus - zerbrochener, zerklüfteter Berg). In seinen Höhlen hausten wilde Drachen, und der in das Bergseelein verbannte Geist von Pontius Pilatus wurde für Gewitter und Überschwemmungen verantwortlich gemacht. Damals galt die Besteigung des Berges als ein frevlerisches Wagnis und war daher vom Rat der Stadt Luzern streng verboten.

Erst in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts durchforschten vereinzelt Gelehrte den Berg. Schon die beiden Luzerner Carl Niclaus Lang und Moritz Anton Cappeler machten sich Gedanken über die Entstehung der am Pilatus gefundenen Fossilien.

→ *Abbildung: Geologische Skizze des Pilatus von Franz Josef Kaufmann.*

Die erste umfassende geologische Beschreibung des Pilatus verdanken wir Franz Josef Kaufmann (1825-1892), Professor an der Kantonsschule Luzern. Er veröffentlichte verschiedene Arbeiten

zur Geologie der Zentralschweiz. Mit seinem 1867 gedruckten Werk „Der Pilatus, geologisch untersucht und beschrieben“ schuf Kaufmann eine noch heute lesenswerte, anschauliche Beschreibung des Berges. Das Buch enthält Skizzen, farbige Stiche und eine geologische Karte. Durch dieses Werk wurde der Pilatus zum bestbekanntesten Berg seiner Zeit.

Spätere Bearbeiter des Pilatus, in erster Linie der Basler Professor August Buxtorf, konnten die Resultate Kaufmanns weitgehend bestätigen. Sie erkannten aber auch im Lichte der um 1890 aufgekommenen Deckentheorie, dass der Faltenbau des Berges wesentlich komplizierter war als von Kaufmann angenommen. A. Buxtorf verdanken wir die geologische Bearbeitung des hier ausgestellten Pilatus-Reliefs.

→ *Vis à vis in Tischvitrine*

Der Pilatus ist ein Teil der sogenannten Helvetischen Randkette, aufgebaut aus Kalkstein, Schiefer und Sandstein des helvetischen Ablagerungsraumes. Der Gebirgszug der Randkette reicht vom Thunersee bis nach Hergiswil und setzt sich vom

Bürgenstock nach Osten bis zum Säntisgebirge fort (vgl. tektonische Karte). Die Kreide- und Tertiär-Ablagerungen der Randkette wurden auf einem „Polster“ von weichem Flyschgestein von allen Decken am weitesten nach Nordwesten vorgeschoben und bilden den heute sichtbaren Nordrand des eigentlichen Alpengebirges.

Im Pilatusgebiet finden wir Kreide- und Tertiärablagerungen aus dem früheren helvetischen Ablagerungsraum. Es handelt sich also um eine Kreide/Tertiär-Decke, im Gegensatz etwa zur Axendecke am Urnersee, wo das Alter der Schichten bis in die Lias-Zeit zurückreicht.

Zwischen den Ablagerungen der Unterkreide und des Eozäns klafft eine Schichtlücke: Sedimente der Oberkreide und des Paleozäns fehlen.

Diese Schichtlücke lässt sich so erklären: Nach Ablagerung der Unterkreide-Schichten im Ur-Mittelmeer ragte das Gebiet des späteren Pilatus vorübergehend aus dem Meer. Die bereits gebildeten Sedimente wurden unterschiedlich stark abgetragen. Im Eozän wurde das Gebiet wieder vom Meer überflutet, und so

kamen die eozänen Ablagerungen auf Unterkreide-Schichten verschiedenen Alters zu liegen.

Fossilien sind in den Pilatusschichten spärlich vertreten. Die meist angewitterten und oft zerdrückten Fossilien lassen sich nur selten vollständig aus den harten Kalk- oder Mergelsteinen herauslösen.

Neben kleinen Brachiopoden finden sich am häufigsten grössere Muscheln (*Requienia*, *Ostrea*) besonders im Schrattekalk und in den Drusbergschichten. Bekannt sind auch die Nummuliten oder „Münzensteine“ aus den Eozän-Ablagerungen. Es sind Schalen grosser Urtiere (Einzeller).

### Schichtabfolge und Fossilien des Pilatus

→ *Grafik und Objekte*

### Der Drachenstein

An einem schwülen Sommertag im Jahre 1420 beobachtete in der Gegend von Rothenburg der Bauer Stämpfli, wie ein feuriger Drache dicht über seinem Kopf Richtung Pilatus flog und dabei etwas fallen liess. Als der Bauer nachsah, fand er in einer „Schweti“ geronnenen Blutes den hier ausgestellten Stein... (1509 urkundlich bestätigt durch den Luzerner Ratsherrn und Vogt Peter Zukäs). Der Stein wurde von einem Nachkommen Stämpflis 1509 dem Wundarzt Martin Schriber zu Luzern verkauft, welcher sich 1523 vom Schultheiss und Rat der Stadt Luzern die Wunderkraft des Drachensteins in einer Urkunde bestätigen liess. Der weitere Verbleib des Steins lässt sich bis heute anhand vieler Zeugnisse verfolgen. Der Kanton Luzern kaufte ihn 1929 von der Familie Meyer von Schauensee, seither ist er in Staatsbesitz.

Der Luzerner Drachenstein war bis zum Ende des 18. Jahrhunderts eine Weltberühmtheit, nicht nur wegen seiner wunderbaren Herkunft, auch wegen seiner angeblichen Heilwirkung bei allerhand Krankheiten. Scheuchzer bezeichnete ihn als „merkwürdigste aller Merkwürdigkeiten aller Museen“!

Gross ist die Zahl der Gelehrten, die sich im Laufe der Jahrhunderte mit dem Luzerner Drachenstein befasst haben:

16. Jhd.: Rennward Cysat;

17. Jhd.: Josef Leopold Cysat, Athanasius Kirchner;

18. Jhd.: Karl Niklaus Lang, Johann Jakob Scheuchzer, Moritz Anton Kappeler;

19. Jhd.: Johann Friedrich Blumenbach, Alfred Escher von der Linth, Ernst Florens Friedrich Chladni, Christian Gottfried Ehrenberg, Karl August Feierabend, Karl von Fritsch und viele andere.

## Die Pilatus-Mondmilch

Am Pilatus liegt auf rund 1800 m am Fuss der Felswände südlich des Widderfeldes eine 117m tiefe Höhle, das Mondmilchloch. Dort findet man an den Wänden einen weissen, sehr leichten, schwammigen Niederschlag von Kalkerde, bekannt unter den Namen „Mondmilch“, „Mont-Milch“ oder „Bergmilch“.

Die von den Älplern ins Tal gebrachte Mondmilch wurde früher zu Heilzwecken gebraucht. Bereits Konrad Gessner erwähnt sie in seiner Beschreibung des Pilatus aus dem Jahre 1555. Karl Niklaus Lang behandelt 1708 die Mondmilch ausführlich in seiner „Historia lapidum figuratorum Helvetiae“. Er empfiehlt Mondmilch gegen folgende Krankheiten: Sodbrennen, Blutflüsse, Durchfall, Harn- und Nierenleiden, Mangel an Muttermilch und äusserlich angewendet gegen unreine Geschwüre ...

Unter der Bezeichnung „Lac lunae“ fand die Mondmilch – vor allem dank Lang – Eingang in die bedeutendsten Arzneibücher des deutschen Sprachgebietes: Württembergische Pharmacopoe von 1751, Lehrbuch der Apothekerkunst von Hagen (Königsberg 1806), Pharmacopoea universalis (Weimar 1832), Pharmacopoea universalis Geiger-Mohr (1845).

Die Mondmilch des Pilatus verschaffte seinerzeit dem Mittel Namen und Ruf. Sie wurde dann auch in anderen Berghöhlen der Schweiz und Deutschlands gefunden. Heute hat sie ihre Bedeutung als Heilmittel verloren.

→ *Abbildungen und ausgestellte Objekte: Luzerner Drachenstein in Originalschatulle und Pilatus- Mondmilch.*

## Die Klippen und ihre Deutung

Entlang der Linie Sarnen - Schwyz finden sich vereinzelte Berge, die in ihrem Gesteinsaufbau gewisse Besonderheiten aufweisen: Die Zentralschweizer Klippen. Sie bestehen aus Trias- bis Oberkreide-Gesteinen und liegen auf tertiärem Flysch, also auf einer geologisch jüngeren Unterlage. Die umgebenden Kalkalpen bestehen dagegen hauptsächlich aus Kreide-Sedimenten.

Die Zentralschweizer Klippen sind letzte Reste einer penninischen Überschiebungs-Decke, die in einer flachen Mulde zwischen der helvetischen Randkette und der Drusberg-Decke der Abtragung entgangen sind. Solche Überreste sind die Giswiler Klippen (Giswilerstock, Alpoglerberg, Glaubebüelen, Rotspitz), die Gruppe Stanserhorn - Buochserhorn - Musenalp - Klewenstock und die beiden Mythen. Die Iberger Klippen enthalten sogar noch kleine Reste von ostalpinen Decken.

Die Bedeutung der Klippen als eigenständige tektonische Einheit wurde von den ersten Alpengeologen noch nicht erkannt. Wegen einer gewissen Ähnlichkeit

mit Gesteinen der benachbarten helvetischen Decken wurden die Klippen noch vor hundert Jahren als helvetische Kreidekalke betrachtet.

Arnold Escher von der Linth bemerkte als Erster die etwas andersartige Ausbildung der Mythen-Stöcke. Der Luzerner Geologe Franz Josef Kaufmann beschäftigte sich näher mit diesem Phänomen. Nach ausgedehnten Feldstudien konnte er 1876 in seiner Schrift „Fünf neue Jurassier“ den erstaunten Fachkollegen die wichtigsten Klippen-Reste vorstellen und beweisen, dass sie älter waren als bisher angenommen. Kaufmann deutete sie als Relikte von Jura-Gestein, die als „Inseln“ aus den jüngeren Ablagerungen des Kreide- und Tertiär-Meeres herausragen (siehe Abb.). Daher stammt auch die von späteren Geologen eingeführte Bezeichnung „Klippen“.

Die Deutung der Klippen als isolierte Reste einer einst zusammenhängenden Decke (siehe Abb.) kam erst am Anfang dieses Jahrhunderts auf. Das Vorkommen von Trias-Gesteinen (mit bunten Dolomiten, Rauhwacken und Gips) sowie eine von den helvetischen Decken abweichende Gesteinsausbildung bezeugen, dass diese Abfolgen aus einer Zone südlich des früheren helvetischen Ablagerungsraumes im Ur-Mittelmeer stammen müssen, und zwar aus der penninischen Zone.

→ *Grafik: Geologische Profile durch die Unterwaldner Klippen-Gruppe und die angrenzenden Gebiete (nach Buxtorf 1934).*

## Was ist Flysch?

Der Flysch verdankt seinen Namen dem Simmentaler Dialektwort „Flüsch“, welches auf das typische Fliesen oder Rutschen dieser Gesteine hindeutet.

Beim Flysch wechseln harte Sandsteinschichten mit weichen, wasserundurchlässigen Ton- und Mergelschichten ab. Nach starken Regenfällen können auf diesen weichen „Gleitschichten“ ganze Gesteinspakete abrutschen. An vielen Orten haben sich gefürchtete Wildbäche mit starker Schuttführung in die weichen Schichten des Flysch eingeschnitten, so zum Beispiel die Grosse Schliere im Kanton Obwalden. Ihr verdankt der Schlierenflysch seine Bezeichnung.

Flysch besteht aus submarinen Schuttablagerungen, die während der allmählichen Auffaltung des Alpen-Gebirges entstanden sind. Da die Gesteinsmerkmale keine eindeutige Zuordnung zu einstigen Ablagerungsräumen erlauben, ist die Beheimatung einzelner Flyschgebiete im Ur-Mittelmeer noch strittig. Da ausserdem Makrofossilien fehlen, liess sich

das Alter erst mit Hilfe der Mikrofossilien bestimmen. Flyschbildungen lassen sich auf diese Weise von der späten Kreide bis ins frühe Oligozän nachweisen.

Wie der Flysch entstanden sein könnte, blieb lange ein Rätsel. Wie waren die typischen Strukturen auf der Unterseite der harten Sandstein-Bänke entstanden? Handelte es sich bei diesen Sohlenmarken um Spuren von Lebewesen oder waren es zufällige Gebilde? Wie waren die als „Chondriten“ bezeichneten bäumchenartigen Gebilde zu erklären? Vor rund 40 Jahren fand man die Antwort auf diese Fragen.

Bei der Untersuchung der Sedimentbildung in den Ozeanen stiess man auf die Erscheinung der submarinen Schlamm- oder Trübestrome (turbidity currents): Erdbeben können am Kontinentalrand Rutschungen von Schlamm- und Gesteinsmassen auslösen. Diese stürzen dann mit grosser Geschwindigkeit (bis 80 km/h) als „Unterwasserlawinen“ in die Tiefe. Dort setzt sich zuerst das gröbere Material und nach und nach auch das feinere wieder ab, sodass eine von grob zu fein gradierte Schichtung entsteht. An der Unterseite von so abgelagerten Trübestromen fand man die aus dem Flysch bekannten Sohlenmarken. Sie sind nichts anderes als Abgüsse von Hohlformen in der weichen Oberfläche des Meeresbodens, die vom Trübestrom erzeugt und gleich darauf mit Grobmaterial

## Molasse am Alpenrand

wieder aufgefüllt worden sind. Rillenmarken geben dabei die Richtung des Trübestromes an. Durch das Einsinken von größerem Material in den noch unverfestigten Schlamm können wulst- oder zapfenförmige Belastungsmarken entstehen. Die Frassspuren von bodenbewohnenden Organismen gleichen auffallend den aus dem Flysch bekannten Chondriten.

So lässt sich aufgrund heutiger Beobachtung in den Ozeanen die Entstehung der alpinen Flysch-Gesteine erklären. H. Schaub errechnete 1965 für den Schlierenflysch, dass im Tal der Grosse Schliere ca. 1600 Schlammströme in einem Zeitraum von etwa 13 Mio Jahren abgelagert worden sind. Da die Sedimentation eines Trübestromes nur wenige Tage oder Wochen braucht, müssen daher zwischen den einzelnen Ereignissen Pausen von durchschnittlich 5 -10'000 Jahren liegen. Diese sind durch eine sehr dünne Sedimentschicht mit Mikrofossilien belegt.

Ein typisches Beispiel für Flysch: Paleozäner Schlierenflysch am Nünalpstock oberhalb Sörenberg.  
→ Foto

Als Molasse bezeichnet man die im Oligozän bis Pliozän aus dem Abtragungsschutt unserer Alpen entstandenen Ablagerungen. Auf diese flach liegende Molasse stiessen am Ende der alpinen Faltung die nach Norden drängenden helvetischen Decken. Dadurch wurde die Randpartie der Molasse von ihrer Unterlage abgeschert und als Decke nach Norden geschoben. Sie wird als Subalpine Molasse bezeichnet. Den auf der Unterlage verbliebenen Hauptteil nennt man Mittelländische Molasse.

Besonders anschaulich tritt die Subalpine Molasse an der Rigi zutage. Bei den mächtigen Nagelfluh-Bänken der Rigi handelt es sich um verfestigten Schotter eines hiesigen oligozänen Fluss-Deltas. Erst im Pliozän wurden diese Sedimente als zusammenhängende Platte auf die Mittelländische Molasse geschoben.



## Mittelländische Molasse

Das Schweizerische Mittelland ist nichts anderes als eine riesige Schuttablagerung: 36 Millionen Jahre lang füllten Flüsse und Strömungen die Voralpensenke mit dem Ablagerungsschutt aus den neu entstehen den Alpen.

Mergel, Sandstein und Konglomerate bilden die Hauptgesteine der Mittelländischen Molasse. In den weicheren Mergelschichten finden wir oft Fossilien, vor allem Schnecken und Muscheln, gelegentlich auch Pflanzenabdrücke.

Der Ablagerungsraum war zeitweise vom Meer, dann wieder von Süswasser überflutet.

Entsprechend unterscheidet man:

Untere Meeresmolasse (UMM)  
 Untere Süswassermolasse (USM)  
 Obere Meeresmolasse (OMM)  
 Obere Süswassermolasse (OSM)

Meist liegen die Schichten der Mittelländischen Molasse flach und sind nur an wenigen Stellen leicht gefaltet. Am Rande zur Subalpinen Molasse aber sind die Schichten aufgerichtet und steil aufgestellt. In der Gegend von Luzern reicht diese Randzone von der Horwer-Halbinsel bis zu den Flüssen Reuss und Emme.

Blick auf die Luzerner Molasse  
 → Foto

Profil 1: Emmenbrücke - Luzern - Horwer Halbinsel

Profil 2: Reussport - Autobahntunnel N2

## Eiszeit und Nacheiszeit

Ein deutlicher Klimarückgang am Ende des Pliozäns vor 2.5 - 1.8 Mio Jahren leitete die Eiszeit oder das Pleistozän (Diluvium) ein. Auffallend ist der mehrmalige Klimawechsel innerhalb des Pleistozäns: Die Ursachen für alle diese Klimaveränderungen sind noch nicht geklärt.

In den Kaltzeiten (8 - 12° kälter als heute) stiessen die Gletscher bis ins Mittelland vor. In den dazwischen liegenden Zwischeneiszeiten (bis zu 3° wärmer als heute) zog sich das Eis jeweils wieder in die Alpentäler zurück.

Von den mehr als sieben Vereisungen sind vor allem die vier letzten bekannt: Günz, Mindel, Riss und Würm. Die beiden letzten haben bei uns deutliche Spuren hinterlassen: Moränen, erratische Blöcke oder Findlinge, Schotter und Kiesablagerungen.

Moränen heissen die von einem Gletscher transportierten und abgelagerten Gesteinsschuttmassen. Die von den Gletschern abgelagerte dünne Grundmoränendecke überzieht heute noch weite Gebiete unserer Talböden und Abhänge. Weniger häufig sind Moränenwälle (Seiten-, Mittel- und Stirnmoränen).

Findlinge sind Gesteinsblöcke, die von Gletschern während der Eiszeit über grössere Strecken in eine „fremde Umgebung“ transportiert worden sind. Die meisten wurden früher zu Bauzwecken zerstört. Heute stehen die grössten und interessantesten unter Naturschutz. Unser grösster Findling auf Stadtgebiet ist ein 4 x 6 x 12 m grosser Aaregranit aus dem Urner Reusstal; er liegt im Hirtenhofquartier.

Verbreitung und Höhenlage von Findlingen geben Aufschluss über Ausdehnung und Höhe der Vergletscherung zur Eiszeit.

Schotter, Kies und Sand sind die häufigsten Ablagerungen von Gletscher-Schmelzwässern (Kiesgruben!). Weitere Anzeiger für Gletschertätigkeit sind überschiffene Felspartien, Drumlins und Gletschermühlen (Gletschergarten Luzern!).

→ Foto:

Blick auf die Gletscher der Eiszeit?

Blick vom Haldigrat gegen Stanserhorn und Pilatuskette. Dem Nebelmeer auf rund 1400 m Ü.M. entspricht etwa die maximale Eisbedeckung der Zentralschweiz in der letzten Eiszeit (Würm).

Vor rund 12'000 Jahren begann der endgültige (?) Rückzug der Gletscher in die Alpen.

Knochenfunde aus dieser Zeit bezeugen das Vorkommen von Mammut, Rentier, Bison, Elch und Höhlenbär in unseren Gegenden. Mit der einsetzenden Erwärmung zogen sich diese kälteliebenden Tiere nach Norden zurück oder starben aus. Ungefähr in diese Zeit fällt auch das erste Auftreten des Menschen in der Zentralschweiz.

Während im Kanton Luzern sichere Beweise für altsteinzeitliche Besiedlungen fehlen (Höhlenbewohner in der Steigelfadalm?), ist das Auftreten mittelsteinzeitlicher Menschen vor rund 10'000 Jahren durch zahlreiche Funde nachgewiesen.

→ *Computerstation zum Thema Mammut*

## Material für Lehrpersonen

Lehrpersonen stehen zu den erdkundlichen Themen drei Museumsköfferchen zur Verfügung, die für SFR 5.- während zwei Wochen ins Schulzimmer ausgeliehen werden können.

- **Gesteine der Schweiz**

Das Köfferchen enthält Beispiele für folgende Gesteine: Granit, Gneis, Sandstein, Mergel, Nagelfluh, Kalkstein. Ausserdem die Lehrpersonenunterlagen „Tipps und Anregungen Steine“ sowie diverse Bücher.

- **Vulkangesteine**

Das Köfferchen enthält Lavagestein, Bimsstein, Vulkanische Asche, Obsidian, Lapilli, Schwefel-Tuff und eine Vulkanische Bombe, ausserdem Unterlagen zum Thema.

- **Fossilien**

Das Köfferchen enthält fossile: Ammoniten, Muscheln, eine Turmschnecke, Holz und ein Blatt, ausserdem Unterlagen zum Thema.

Detaillierte Inhaltsbeschreibungen finden Sie auf unserer Homepage [www.naturmuseum.ch](http://www.naturmuseum.ch) → Lehrpersonen → Materialausleihe.

## NATUR-MUSEUM LUZERN

Kasernenplatz 6  
CH-6003 Luzern

Kasse/Auskunft: 041 228 54 11

Tonbandauskunft: 041 228 54 14

(Auskunft über Öffnungszeiten und aktuelle Ausstellungen)

Internet: [www.naturmuseum.ch](http://www.naturmuseum.ch)

### Öffnungszeiten

Dienstag – Sonntag: 10 – 17 Uhr durchgehend, montags geschlossen.  
Schulklassen können das Museum nach vorheriger Vereinbarung von Montag-Freitag auch ausserhalb der Öffnungszeiten ab 8.30 Uhr besuchen (telefonische Anmeldung unter 041 228 54 11)!

Achtung: Bitte melden Sie Ihre Schulklasse auch dann telefonisch an, wenn Sie einen Besuch während den offiziellen Öffnungszeiten planen. Wir versuchen so – im Interesse aller – „Überbelegungen“ von Ausstellungen zu verhindern. Danke für Ihr Verständnis!

### Eintrittspreise

	Einzel	Gruppen
Erwachsene	CHF 8.-	CHF 6.-
AHV, Studenten	CHF 7.-	CHF 5.-
Kinder (6-16 J.)	CHF 3.-	CHF 2.-

Schulklassen des Kantons Luzern, Lehrpersonen und Mitglieder des Museumsvereins besuchen das Museum gratis!

### Museumspädagogik

(Marie-Christine Kamke, Anna Poncet, Muriel Bendel)

... für Ideen, Fragen, Anregungen, Kritik zum Thema Schule und Museum und zu aktuellen Sonderausstellungen!

Telefon direkt: 041 228 54 02

E-Mail: [vermittlung.nml@lu.ch](mailto:vermittlung.nml@lu.ch)