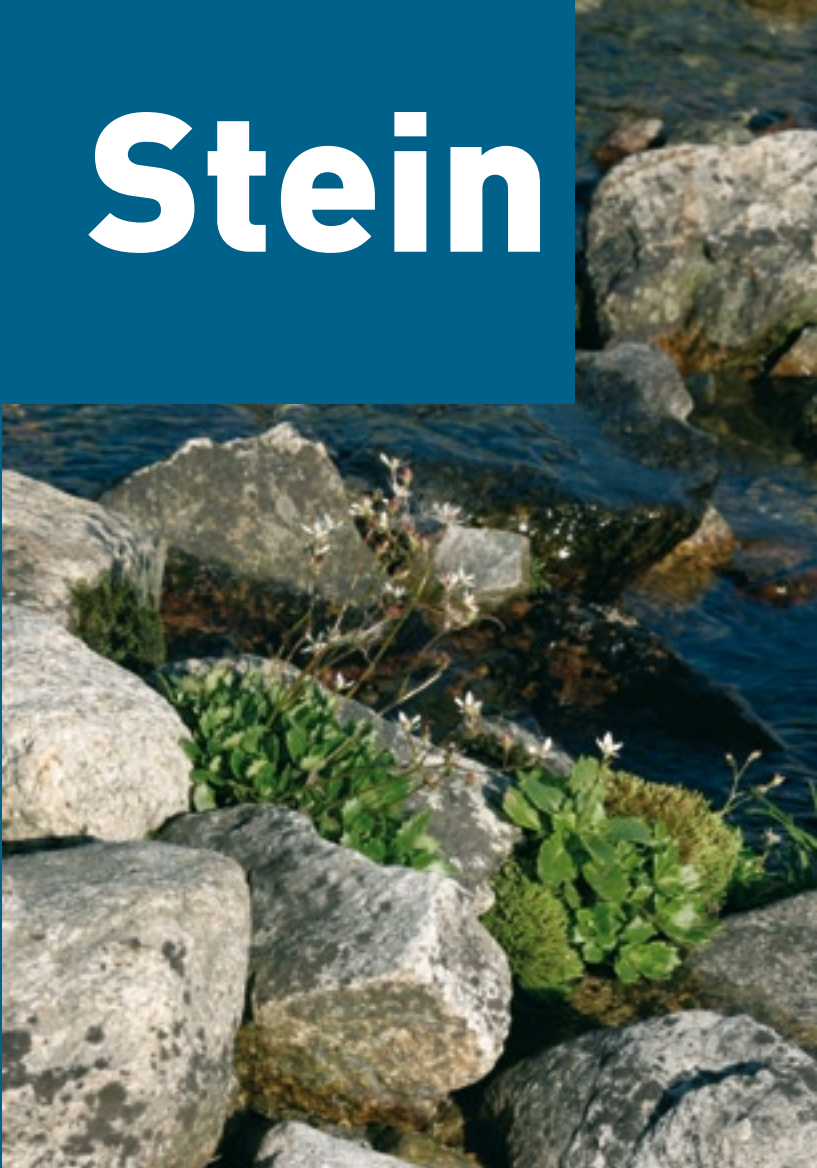
Stein



Meinrad Ammann, Petra Blaser, Adam Vecsei: Stein

Meinrad Ammann, Petra Blaser, Adam Vecsei

Stein

Herausgeber
Nagra, Nationale Genossenschaft für
die Lagerung radioaktiver Abfälle,
Wettingen

Autoren
Dr. Meinrad Ammann, Geologe, Nagra, Wettingen
Petra Blaser, Geologin, Uetikon am See
Dr. Adam Vecsei, Geologe, Winterthur

Gestaltung
Franca Moser, Nagra, Wettingen

Erste Auflage 2006

WIR DANKEN
Die Autoren danken für Unterstützung, viele Hinweise, Korrekturvorschläge und Bildmaterial:
Dr. Andrea Rieser, Oscar Wüest, Dr. Heinrich Naef, Dr. Iwan Stössel, Prof. Dr. Philippe Della Casa (Abt. Ur- und Frühgeschichte Univ. Zürich), Dr. Urs Leuzinger (Amt für Archäologie Kanton Thurgau), Urs Gerber (Geologisches Institut ETH Zürich), Dr. André Lambert, Dr. W. H. Müller, Dr. Sigurd Schlanke, Dr. Wilfried Albert, Dr. Peter Brack (Mineralogisch-petrographische Sammlung ETH Zürich), Dr. Heinz Furrer (Paläontologisches Museum Universität Zürich), Dr. Milena Pika-Biolzi (Geologisch-palaeontologische Sammlung ETH Zürich), Dr. Rainer Kündig (Schweizerische Geotechnische Kommission), Dr. Beda Hofmann (Naturhistorisches Museum der Burgergemeinde Bern), Urs Oberli, Dr. Hans-Ruedi Bläsi, Urs Welti, Franz von Arx, Willi Lüdi, Marcel Baer, Albert Krebs, Bernhard Fuchs, Arniko Böke, Bergwerkverein Käpfnach, Pro Gonzenbergwerk, Raetisches Museum Chur, Archäologischer Dienst Chur, Kantonale Denkmalpflege Zürich, Saurierkommission Gemeinde Frick, République et Canton du Jura (Section d'archéologie et paléontologie), Vereinigte Schweizerische Rheinsalinen, Open Air Kino Amphitheater Hüntwangen, AlpTransit Gotthard, Archäologische Bodenforschung Basel, Bundesamt für Umwelt.

Inhalt

Geologie der Schweiz	10
Gesteine der Schweiz	20
Fossilien	40
Steinzeit	50
Erze, Kohle und Salz	64
Kluftminerale und Gold	76
Baustoffe	84
Hohlräume im Untergrund	98
Naturgefahren	108
Stein und Wasser	120
Erkunden	128

Vorwort

Die Nagra hatte im Rahmen ihrer Untersuchungen mit der Geologie von grossen Teilen der Schweiz zu tun und hat eine ganze Anzahl von Gesteinen auf ihre Eignung als Wirtgestein für geologische Tiefenlager geprüft. Die Geologie ist aus unserer täglichen Arbeit nicht wegzudenken. Deshalb reifte die Idee zu diesem kleinen Taschenbuch.

Das vorliegende Buch greift unter dem Titel «Stein» eine Palette aus der grossen möglichen Themenvielfalt zu «Stein und Geologie» heraus. Wo ein enger Bezug zu den Untersuchungen der Nagra besteht, fliessen diese Aspekte natürlich ein. Es sind aber auch Themen aufgenommen worden, die keine direkte Verbindung zur Aufgabe der Nagra haben – aber sie gehören einfach dazu.

Wir hoffen, das Sie bei der Lektüre Freude haben. Auf unserer Website www.nagra.ch bieten wir «zum Weiterlesen» eine Liste mit Links zu den dargestellten Themen an.

Hans Issler, Präsident der Nagra

Geologie der Schweiz

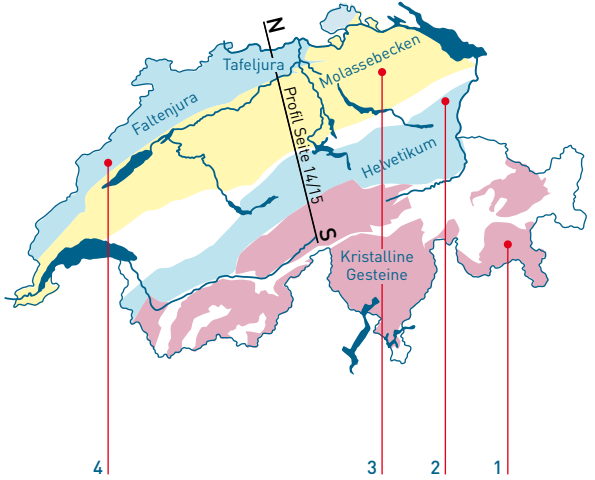
Blick zurück, Blick nach vorn



Die Schweiz vom Weltraum aus gesehen. Deutlich erkennbar sind der Alpenbogen, das Mittelland und der Faltenjura. Foto: www.visibleearth.nasa.gov.

Geologie und Landschaft

Der Untergrund der Schweiz ist sehr vielfältig. Die Vielfalt zeichnet sich in den Landschaftsformen ab.





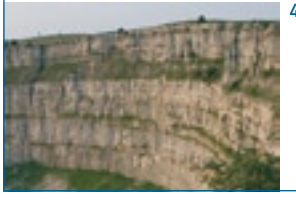
1 Im Wallis südlich der Rhone, in den Zentralalpen, im Tessin und in weiten Teilen Graubündens überwiegen kristalline Gesteine (Gesteine mit sichtbaren Kristallen) wie Granit, Gneis und kristalline Schiefer. Foto: Nagra.



2 In einem Band im Nordteil der Alpen vom St. Galler Rheintal bis ins Rhonetal (dem Helvetikum) findet man vor allem Kalkstein und Mergelstein (Mischgestein aus Kalk und Ton). Foto: www.picswiss.ch.



3 Zwischen Bodensee und Genfersee (Molassebecken) besteht der Untergrund aus Sandstein, Silt- und Mergelstein sowie aus Nagelfluh. Auch Lockergesteine aus den Eiszeiten sind hier verbreitet. Foto: Nagra.



4 Tafeljura und Faltenjura im Norden und Westen der Schweiz sind aus Kalk-, Mergel- und Tonstein und Anhydrit/Gips aufgebaut. Foto: www.picswiss.ch.

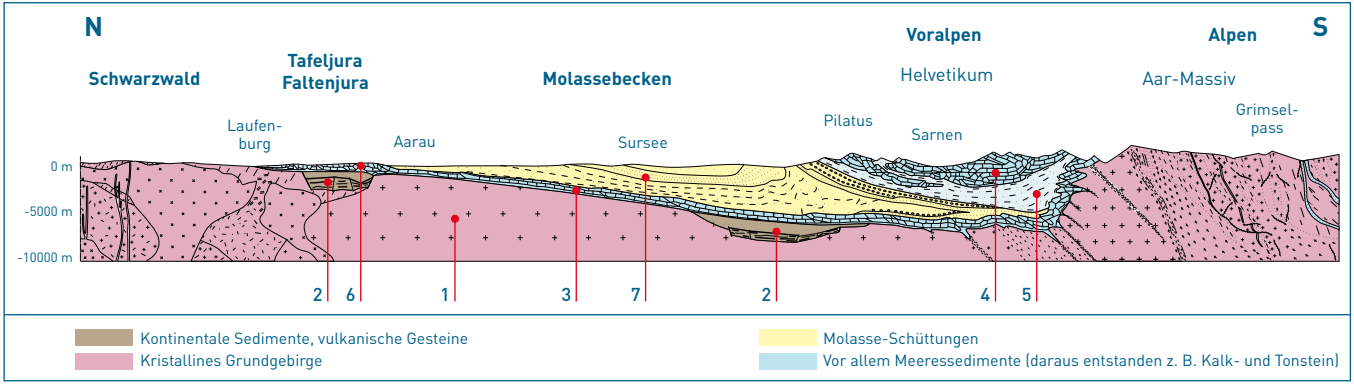
Blick in die Vergangenheit

Erdaltertum*: Kristalline Tiefen-, Umwandlungs- und Ganggesteine (1) entstanden in der Erdkruste. Tröge (2) senkten sich ins kristalline Grundgebirge ein. Die Tröge wurden mit Abtragungsschutt des umliegenden Gebirges gefüllt.

Erdmittelalter: Die Schweiz war meist von einem Meer bedeckt, wo sich Sedimente ablagerten, die heute als Gesteine (3) auf dem älteren Untergrund liegen. Während der späteren Zusammendrückung und Hebung der Alpen wurden die Gesteine des helvetischen Ablagerungsraumes in Gesteinsstapel zerlegt, verfaltet und nach Norden verfrachtet (4). Zwischen den Stapeln liegt das noch ins Meer geschüttete Abtragungsmaterial der sich bildenden Alpen (Flysch 5).

Erdneuzeit: Der Druck der entstehenden Alpen wirkte sich bis in die Nordschweiz aus. Durch diesen Druck wurden dort die Gesteinsschichten zum Faltenjura (6) aufgefaltet. Grosse Massen von Abtragungsmaterial der sich hebenden Alpen sammelten sich vor dem Gebirge im Molassebecken (7) an.

* Vergleiche Buchzeichen «Geologische Zeitskala»



Die Gegenwart

Spannung wird abgebaut

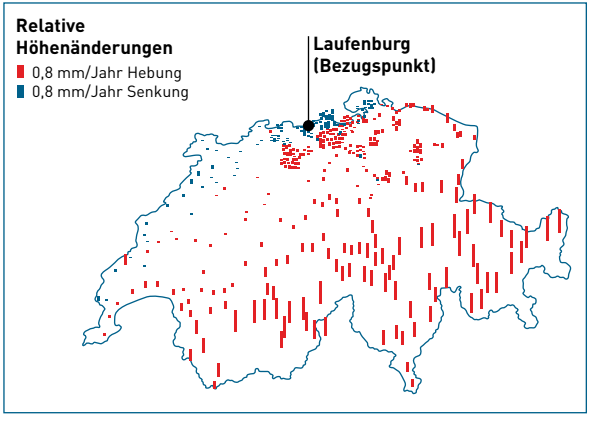
Erdgeschichtlich gesehen verläuft die Grenze zwischen Afrika und Europa quer durch die Alpen. In solchen Grenzzonen ist die Spannung im Untergrund hoch. Die Erde baut die Spannung durch grossräumige, langsame sowie durch kleinräumige, abrupte Bewegungen ab.

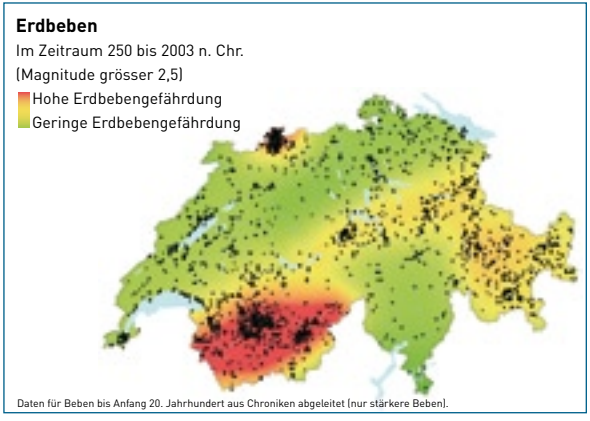
Die Schweiz hebt und senkt sich

Wegen der Spannungen hebt und senkt sich der Untergrund. Der Alpenraum wird jährlich um etwa einen Millimeter gehoben. Das westliche Mittelland und der Jura sinken geringfügig ab. Die Alpen bewegen sich noch heute leicht nach Nordwesten, nur Teile des Nordostens der Schweiz werden von dieser Bewegung nicht erfasst.

Erdbeben

Durch Erdbeben lösen sich die Spannungen abrupt, indem Gesteinspakete gegeneinander versetzt werden. Die Erschütterungen gefährden in der Schweiz vor allem das Wallis und die Region Basel.





In die Zukunft schauen

Das geologische Wissen über die Schweiz ist sehr gross. Man weiss:

- Welche Gesteine es gibt und wo.
- Wie und wo sie entstanden sind.
- Wie die Spannungen im Gestein gerichtet sind.
- Welche vertikalen und seitlichen Bewegungen heute stattfinden.
- Wo sich Erdbeben häufen, wie stark sie sind und welche Bewegungen dabei ablaufen.

Für die Zukunft folgern die Fachleute:
Die Spannungen im Untergrund der Schweiz werden sich nur allmählich im Lauf von Jahrmillionen ändern, ähnlich wie in den letzten etwa 100 Millionen Jahren. Die Alpen werden weiter gehoben, andere Regionen der Schweiz werden weiterhin geringfügig absinken oder kaum bewegt. Auch in Zukunft wird die Erde immer wieder beben. Grösse und Wahrscheinlichkeit der Erdbeben kann man abschätzen, nicht aber ihren Zeitpunkt.



In diesen Sinterterrassen wird Kalkstein gebildet: Tüfels Chilen im Tösstal (ZH). Foto: A. Krebs, Agasul.

Gesteine der Schweiz

Ausstellung der Natur



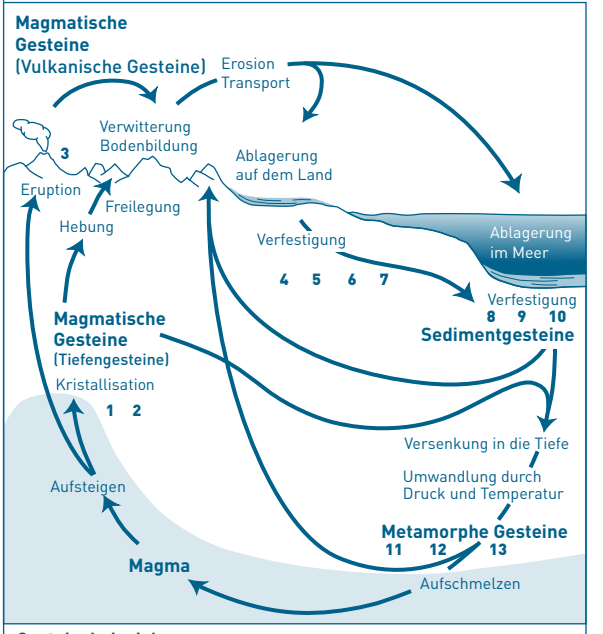
Wie ausgestellt: Decksteine auf Erdpyramiden bei Euseigne (VS). Foto: Marcel Baer, Edlibach.

Gesteinstypen und Entstehung

Die Gesteine innerhalb der obersten 30 bis 60 Kilometer der Erde, der Erdkruste, befinden sich in einem ständigen Kreislauf. Die Bewegungen sind zumeist so langsam, dass wir sie nicht wahrnehmen. Es bilden sich Gebirge. Diese werden abgetragen, aus dem abgelagerten Schutt entstehen Sedimentgesteine. Alle Gesteine können in grosse Tiefen verschoben werden. Dort werden sie zu metamorphen Gesteinen umgewandelt oder aufgeschmolzen. Die Gesteinsschmelze (Magma) erstarrt in der Tiefe oder an der Erdoberfläche zu magmatischen Gesteinen. Der Kreislauf beginnt von neuem.

a) Magmatische Gesteine

Wenn Magma in der Erdkruste abkühlt, erstarrt es zu Tiefengesteinen (z. B. Granit). Tritt die Schmelze an der Erdoberfläche aus (z. B. an Vulkanen), wird sie als Lava bezeichnet. Diese erstarrt zu vulkanischen Gesteinen (z. B. Basalt). Ganggesteine (z. B. Aplit und Lamprophyr) füllen Spalten im Gestein.



Gesteinsbeispiele

1 Granit	6 Molassemergel	11 Gneis
2 Aplit u. Lamprophyr	7 Verrucano	12 Schiefer
3 Basalt	8 Tonstein	13 Marmor
4 Nagelfluh	9 Kalkstein	
5 Sandstein	10 Anhydrit und Gips	

Gesteine entstehen in einem langsamen Kreislauf zwischen Erdoberfläche und tiefer Erdkruste. Nach I. Stössel, Schaffhausen (ergänzt).

b) Sedimentgesteine

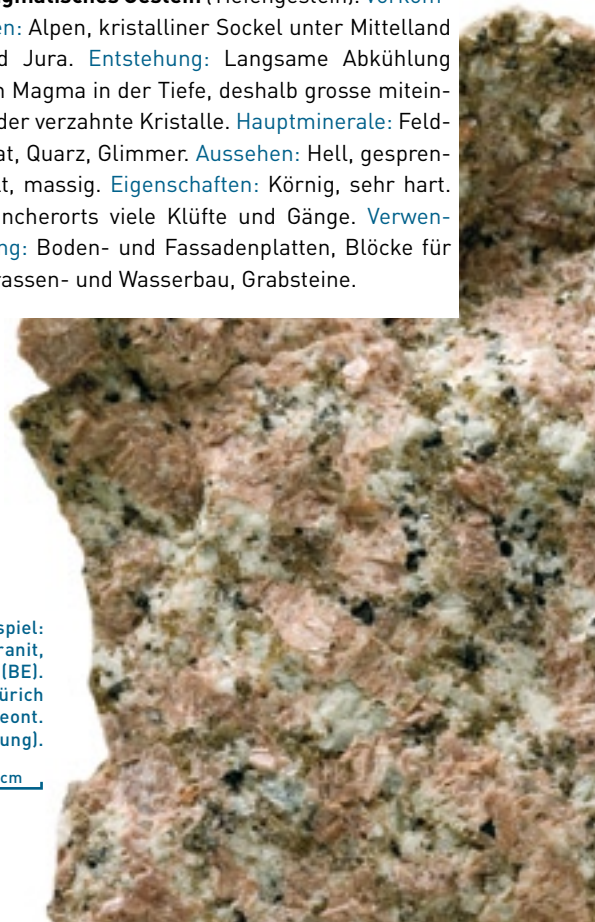
Trümmergesteine wie Nagelfluh, Sandstein und Tonstein bestehen aus Abtragungsmaterial von Gebirgen. Kalksteine entstehen zumeist aus Schalen und anderen Hartteilen von Tieren. Chemisch gebildete Sedimentgesteine wie Gips und Steinsalz entstehen durch Verdunstung von Meer- und Seewasser. Die ursprünglich losen Bestandteile werden erst mit der Zeit zu Festgesteinen verkittet. Sedimentgesteine sind in der Regel geschichtet.

c) Metamorphe Gesteine

Druck- und Temperaturerhöhung im Untergrund verwandeln alle Arten von Gesteinen zu metamorphen Gesteinen. Dabei können neue Minerale entstehen, die als Folge des Drucks in eine bevorzugte Richtung wachsen können.

Granit

Magmatisches Gestein (Tiefengestein). Vorkommen: Alpen, kristalliner Sockel unter Mittelland und Jura. Entstehung: Langsame Abkühlung von Magma in der Tiefe, deshalb grosse miteinander verzahnte Kristalle. Hauptminerale: Feldspat, Quarz, Glimmer. Aussehen: Hell, gesprenkelt, massig. Eigenschaften: Körnig, sehr hart. Mancherorts viele Klüfte und Gänge. Verwendung: Boden- und Fassadenplatten, Blöcke für Strassen- und Wasserbau, Grabsteine.



Beispiel: Habkern-Granit, Habkern (BE). Foto: ETH Zürich (Geol.-palaeont. Sammlung).

1 cm

Aplit und Lamprophyr

Magmatisches Gestein (Ganggestein). Vorkommen: Alpen, kristalliner Sockel unter Mittelland und Jura. Entstehung: Magma erstarrt in Gesteinsspalten. Hauptminerale: Im Aplit Feldspat, Quarz, Hellglimmer. Im Lamprophyr Feldspat, Hornblende, Pyroxen, Dunkelglimmer. Aussehen: Aplit hell und recht feinkörnig. Lamprophyr dunkel und fein- bis mittelkörnig. Eigenschaften: Hart, gut bearbeitbar. Verwendung: In der Schweiz wenig genutzt.

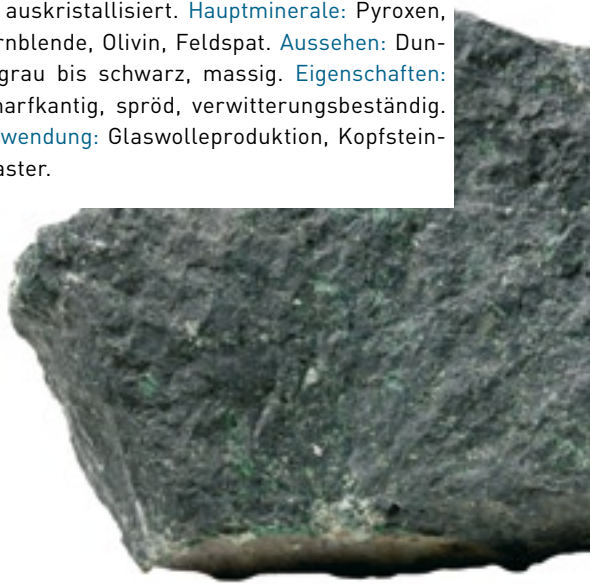


Beispiel: Aplitgang (hell) im Gneis (dunkel), Bergell (Italien). Foto: ETH Zürich (Geol.-palaeont. Sammlung).

1 cm

Basalt

Magmatisches Gestein (Vulkanisches Gestein). Vorkommen: Weltweit häufig, in der Schweiz metamorph. Entstehung: Schnelle Abkühlung von Lava an der Erdoberfläche, nicht vollständig auskristallisiert. Hauptminerale: Pyroxen, Hornblende, Olivin, Feldspat. Aussehen: Dunkelgrau bis schwarz, massig. Eigenschaften: Scharfkantig, spröd, verwitterungsbeständig. Verwendung: Glaswolleproduktion, Kopfsteinpflaster.



Beispiel: Basalt, metamorph, Alp Flix (GR). Foto: ETH Zürich (Geol.-palaeont. Sammlung).

1 cm

Nagelfluh (Konglomerat)

Sedimentgestein. Vorkommen: Vor allem am Alpenrand. Entstehung: In den Alpen zerfallen Gesteine durch Erosion zu Schutt. Flüsse transportierten den Schutt ins Vorland und lagerten ihn im Molassebecken ab. Zusammensetzung: Gerölle aus verschiedenen Alpengesteinen (z. B. Granit, Kalkstein), verkittet und verfestigt, in feinkörniger Grundmasse. Eigenschaften: Bildet in der Landschaft Rippen und Stufen.



Beispiel: Nagelfluh, Gottschalkenberg (ZG). Nagelfluh wird wegen des Aussehens auch «Beton des lieben Gottes genannt». Foto: ETH Zürich (Geol.-palaeont. Sammlung).

Sandstein

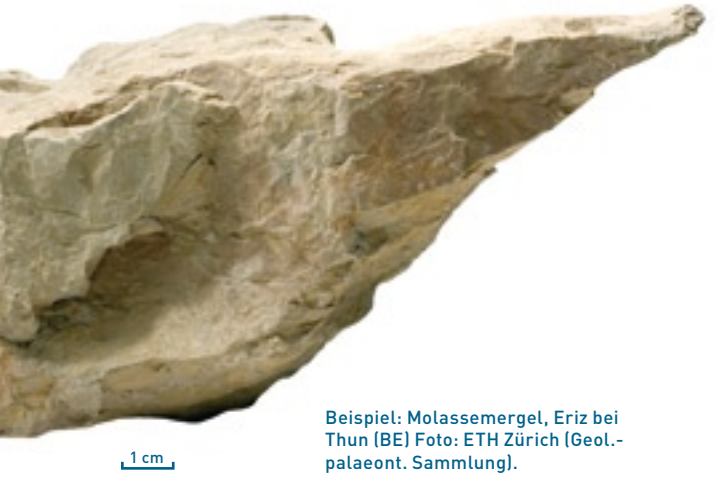
Sedimentgestein. Vorkommen: Mittelland und Alpen. Entstehung: Ablagerung in Flussrinnen und im Meer. Zusammensetzung: Überwiegend Quarzkörner und Gesteinsbruchstücke, meist kalkig zementiert. Aussehen: Grau, seltener rot, grün und gelb, feinkörnig. Eigenschaften: Gut bearbeitbar, oft wenig beständig. Verwendung: Mauersteine, Fassadenplatten, Wegbelag, Steinmetzarbeiten.



Beispiel: Glimmersandstein mit Kastanienblatt, Kreuzlingen (TG). Foto: ETH Zürich (Geol.-palaeont. Sammlung).

Molassemergel

Sedimentgestein. Vorkommen: Mittelland und Alpenrand. Entstehung: In Flussebenen und im Meer. Zusammensetzung: Sehr feinkörniges Gemisch aus Calcit, Ton und weiteren Mineral- und Gesteinskörnchen. Aussehen: Vielfarbig, geschichtet. Eigenschaften: Meist dicht, nach Verwitterung an der Erdoberfläche weich. Verwendung: Ziegeleiprodukte.

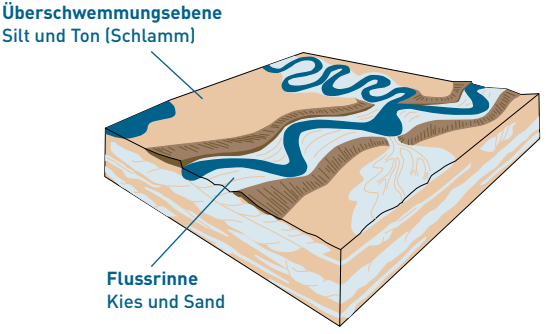


Beispiel: Molassemergel, Eriz bei Thun (BE) Foto: ETH Zürich (Geol.-palaeont. Sammlung).

So entstanden Nagelfluh, Sandstein und Molassemergel im Molassebecken

Die Alpen hoben sich vor 12 bis 35 Millionen Jahren zeitweise schnell, so dass aus ihnen Flüsse viel Erosionsschutt ins Molassebecken verfrachteten. Kies lagerten sie vor allem am Alpenrand ab. Sand sammelte sich in Flussrinnen und Schlamm auf Überschwemmungsebenen an. Zeitweise war das Molassebecken von einem Meer bedeckt, in das die Flüsse ihre Fracht einschwemmten. Aus Kies entstand Nagelfluh, aus Sand Sandstein und aus Schlamm Mergel.

Diese Ablagerungen wechselten sich seitlich und im Lauf der Zeit rasch ab. Deshalb sind die Gesteinsabfolgen im Molassebecken sehr variabel.



Tonstein

Sedimentgestein. Vorkommen: Jura und nördliche Teile der Schweiz und Alpen. Entstehung: Ablagerung im Meer. Zusammensetzung: Tonminerale, Quarz, wenig Calcit. Aussehen: Verschieden farbig, oft geschichtet. Eigenschaften: Weich, dicht. Tonminerale quellen bei Wasserzutritt. Verwendung: Dichtungston für Deponien und Staudämme, Tonziegel- und Zementherstellung.

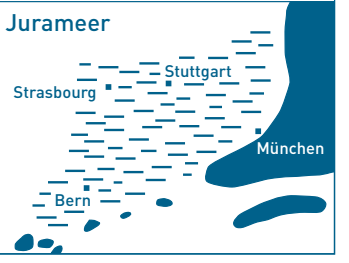


Beispiel: Opalinuston, Felslabor Mont Terri (JU). Foto: ETH Zürich.

So entstand der Opalinuston

In der Jurazeit vor 180 Millionen Jahren war die Nordschweiz von einem flachen Meer bedeckt. Am Meeresboden lagerte sich feiner Tonschlamm ab. Nach der Verfestigung entstand daraus der Opalinuston. Der Name stammt vom häufig enthaltenen Ammoniten «Leioceras opalinum».

Der Opalinuston ist in der Nordschweiz und den angrenzenden Ländern verbreitet. Er bildet ein zirka 110 Meter dickes, gleichmässig aufgebautes Schichtpaket. Opalinuston hat ein sehr gutes Abdichtungs- und Isolationsvermögen. Träger dieser Eigenschaft sind die mikroskopisch kleinen, plättchenförmigen Tonminerale. Opalinuston wird deshalb auch zu Dichtungston (Handelsname Opalit) verarbeitet.



Land und Meer vor 180 Millionen Jahren (Vorkommen von Opalinuston gestrichelt).

Verrucano

Sedimentgestein. Vorkommen: Alpen, Tröge im tiefen Untergrund der Nordschweiz. Entstehung: Ablagerung von Abtragungsschutt eines ehemaligen Gebirges auf dem Festland, verkittet und verfestigt. Zusammensetzung: Kantige Bruchstücke in sandig-toniger Grundmasse. Aussehen: Braunrot mit hellen Gesteinsbruchstücken. Eigenschaften: Nicht sehr beständig. Verwendung: Früher als Baustein (Findlinge).

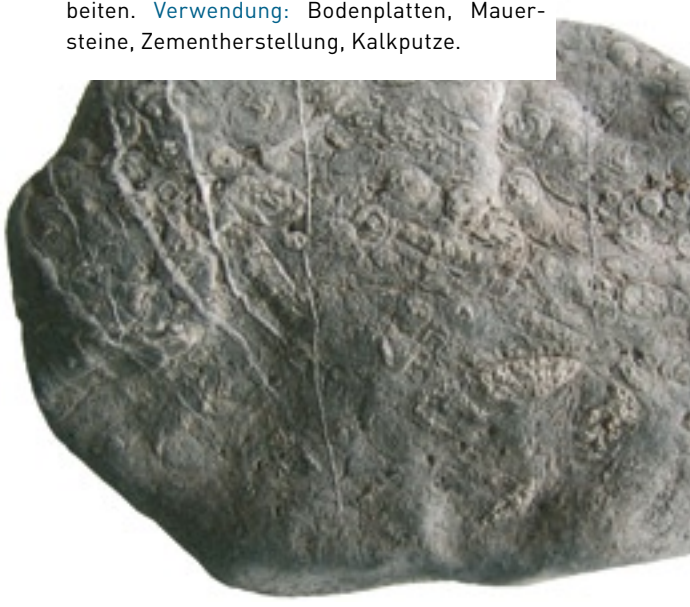


Beispiel: Verrucano aus der Perm-Zeit, Bohrung Riniken (AG), zirka 1013 Meter Bohrtiefe. Foto: ETH Zürich.

1 cm

Kalkstein

Sedimentgestein. Vorkommen: Jura und Alpen. Entstehung: Ablagerung von Organismen-Hartteilen am Meeresboden. Zusammensetzung: Vor allem Calcit. Aussehen: Meist hell- bis blaugrau, feinkörnig. Eigenschaften: Gut zu bearbeiten. Verwendung: Bodenplatten, Mauersteine, Zementherstellung, Kalkputze.

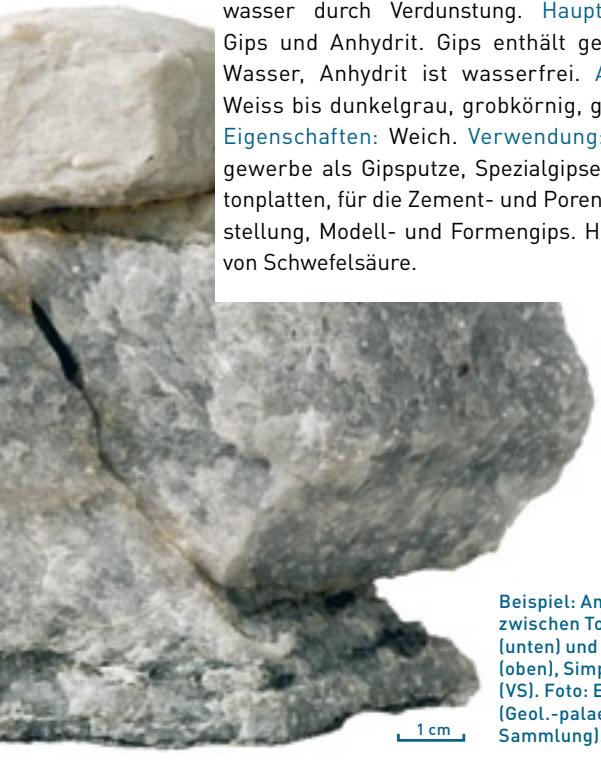


Beispiel: Öhrlikalk, Öhrlisattel (AI). Foto: Sammlung Urs Oberli, St. Gallen.

2 cm

Anhydrit und Gips

Sedimentgesteine. Vorkommen: Tafel- und Faltenjura, Alpen. Entstehung: Fällung aus Meerwasser durch Verdunstung. Hauptminerale: Gips und Anhydrit. Gips enthält gebundenes Wasser, Anhydrit ist wasserfrei. Aussehen: Weiss bis dunkelgrau, grobkörnig, gebändert. Eigenschaften: Weich. Verwendung: Im Baugewerbe als Gipsputze, Spezialgipse, Gipskartonplatten, für die Zement- und Porenbetonherstellung, Modell- und Formengips. Herstellung von Schwefelsäure.



Beispiel: Anhydrit zwischen Tonschiefer (unten) und Gips (oben), Simplontunnel (VS). Foto: ETH Zürich (Geol.-palaeont. Sammlung).

Gneis

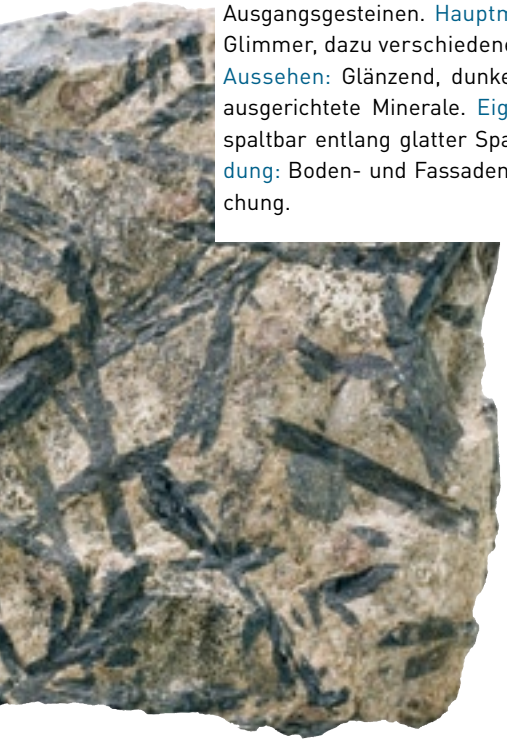
Metamorphes Gestein. Vorkommen: Alpen, kristalliner Sockel unter Mittelland und Jura. Entstehung: Durch Druck- und Temperaturerhöhung verändertes Gestein. Entstanden zum Beispiel aus Granit. Hauptminerale: Feldspat, Quarz, Glimmer. Aussehen: Hell gesprenkelt, dicklagig bis flaserig durch ausgerichtete Minerale. Eigenschaften: Verwitterungsbeständig, spaltbar. Kann stark geklüftet und von Gängen durchzogen sein. Verwendung: Randsteine, Mauersteine, Boden- und Fassadenplatten, Hausbedachung.



Beispiel: Gneis, Zentralalpen. Foto: ETH Zürich (Geol.-palaeont. Sammlung).

Schiefer

Metamorphes Gestein. Vorkommen: Alpen, kristalliner Sockel unter Mittelland und Jura. Entstehung: Metamorphose von tonreichen Ausgangsgesteinen. Hauptminerale: Vor allem Glimmer, dazu verschiedene weitere Minerale. Aussehen: Glänzend, dunkel, dünnlagig durch ausgerichtete Minerale. Eigenschaften: Leicht spaltbar entlang glatter Spaltflächen. Verwendung: Boden- und Fassadenplatten, Hausbedachung.



Beispiel: Hornblende-Garbenschiefer, Val Tremola (TI). Foto: ETH Zürich (Mineralogisch-petrographische Sammlung).

1 cm

Marmor

Metamorphes Gestein. Vorkommen: Alpen. Entstehung: Metamorphose von Kalk- und Dolomitstein. Hauptminerale: Calcit (Kalkmarmor), Dolomit (Dolomitmarmor). Aussehen: Körnig, hell, teils gebändert. Eigenschaften: Gut bearbeitbar. Verwendung: Fassaden- und Bodenplatten, Fliesen, Skulpturen.



Beispiel: Marmor, Zentralalpen. Foto: ETH Zürich (Mineralogisch-petrographische Sammlung).

1 cm

Fossilien

Lebensspuren aus der Vergangenheit



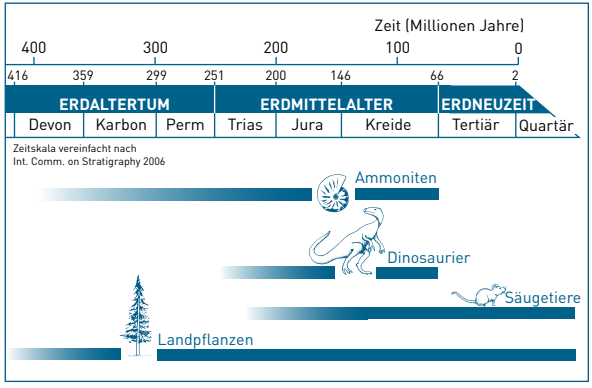
Baumfarn «Pecopteris subelegans» aus der Nagra-Bohrung Weiach (ZH), zirka 300 Millionen Jahre alt. Im Gebiet Weiach wurde in 1400 bis 1800 Metern Tiefe das bisher grösste Kohlevorkommen der Schweiz entdeckt, mit mehreren bis zu 1,7 Meter mächtigen Steinkohleschichten. Foto: Nagra.

Zeugen der Vergangenheit

Tiere und Pflanzen der Vorzeit faszinieren wegen ihrer Andersartigkeit verglichen mit heutigen Lebewesen. Die fossilen Körperteile, Steinkerne, Abdrücke und Spuren heute ausgestorbener Lebensformen sind Zeugen des Lebens vor unvorstellbar langen Zeiten. Das Wort «Fossil» stammt aus dem Lateinischen und bedeutet ausgegraben.

Fossilien belegen die Entwicklung des Lebens (Evolution) über Jahrmillionen. Jedes erdgeschichtliche Zeitalter zeichnet sich durch ganz bestimmte Lebensformen aus. Erdaltertum, Erdmittelalter, Erdneuzeit und kürzere Zeitabschnitte sind durch das Erstauftreten und Aussterben von Lebewesen festgelegt. Leitfossilien kennzeichnen erdgeschichtlich kurze Zeitabschnitte eindeutig, da sie bald nach ihrer Entstehung wieder verschwanden, dafür aber auf der Erde weit verbreitet waren. Zudem geben Fossilien zum Beispiel indirekt Auskunft über Temperatur, Salzgehalt und Tiefe der Meere vor Jahrmillionen.

Lange Zeit wollte niemand glauben, dass diese Reste von vorgeschichtlichen Tieren und Pflanzen viele Millionen Jahre alt sind. Etliche Jahrhunderte vergingen, bis merkwürdige Erklärungen für die Entstehung von Fossilien als falsch erkannt wurden. Beispielsweise hielt der Zürcher Stadtarzt und Chorherr Johann Jakob Scheuchzer (1672 – 1733) Fossilien für Reste von Lebewesen, die während der biblischen Sintflut ertranken.



Viele Tier- und Pflanzengruppen lebten mehrere hundert Millionen Jahre lang. Ammoniten und Dinosaurier starben am Ende der Kreide-Zeit aus. Säugetiere und Landpflanzen gibt es noch heute.

Arten von Fossilien

Tiere und Pflanzen bleiben auf unterschiedliche Weise erhalten. Die Erhaltungsweise hängt vom Aufbau der Lebewesen sowie von den Umständen ihrer Ablagerung und Einbettung im Sediment ab.

Körperfossilien bestehen aus den versteinerten Hartteilen der Lebewesen. Schalen von Muscheln und Schnecken, Zähne und Skelette von Fischen, Knochen von Dinosauriern sowie Holz von Bäumen sind Beispiele. Viele dieser Hartteile bleiben erhalten, weil sie aus Mineralen (z. B. Calcit) bestehen, die auch sonst in der Erdkruste vorkommen. Andere Lebewesen «versteinern» nur, wenn Minerale in ihren Hohlräumen auskristallisieren.

Steinkerne entstehen, wenn Hartteile von Lebewesen aufgelöst werden und einen Hohlraum hinterlassen, der später durch Sediment aufgefüllt wird.

Abdrücke kennt man von vielen Tieren und Pflanzen wie Ammoniten, Schnecken, Muscheln, Bäumen und Blättern. Diese Lebewesen können im umgebenden Sediment einen Abdruck hinterlassen, bevor sie gelöst werden. In extrem seltenen Fällen hinterlassen sogar die Weichteile von Tieren Abdrücke.

Spurenfossilien sind zum Beispiel Fussspuren von Dinosauriern, Kriech- und Grabspuren von Krebsen und Würmern. Vom Lebewesen selbst ist bei Spurenfossilien nichts erhalten.



13 000 Jahre alter Strunk einer mächtigen fossilen Föhre, die am Üetliberg (ZH) gefunden wurde. Foto: Nagra.

Leioceras opalinum

Die Ammonitenart «Leioceras opalinum» ist im Opalinuston häufig. Ein Exemplar wurde in der Bohrung Benken im Zürcher Weinland in etwa 650 Meter Bohrtiefe gefunden. Der Name weist auf das Schillern der Perlmuttschale hin, das jenem des Opals ähnelt. Die Schalen dieser Ammoniten sind zirka 180 Millionen Jahre erhalten geblieben.

«Leioceras opalinum» ist ein Zeuge der Lebensbedingungen in der Nordschweiz zur mittleren Jurazeit. Das Tier lebte in einem ausgedehnten wenig tiefen Meer. Nach dem Tod der Tiere wurden die Kalkschalen von Schlamm zugedeckt, welcher im Laufe der Jahrmillionen zu hartem Tonstein verfestigt wurde. Das dichte Tongestein schützte die Schalen vor äusseren Einflüssen, dadurch blieben sie erhalten.



«Leioceras opalinum» aus der Nagra-Bohrung Benken (ZH), zirka 180 Millionen Jahre alt. Foto: Comet, Zürich.

Giganten der Urzeit

Die ersten Dinosaurier lebten während der Trias-Zeit vor etwa 230 Millionen Jahren. Am Ende der Kreide-Zeit vor 66 Millionen Jahren starben diese eindrücklichen Tiere allmählich aus. Das Aussterben der Dinosaurier markiert das Ende des Erdmittelalters.

Wahrscheinlich wurden sie durch die Konkurrenz der Säugetiere und eine starke Klimaabkühlung geschwächt. Manche Forscher vermuten, dass der Einschlag eines Himmelskörpers (Meteorits) in Mittelamerika wesentlich zum Aussterben der Dinosaurier beigetragen hat. Im Lauf der Zeit wurden immer wieder neue Vermutungen für den Grund ihres Aussterbens aufgestellt und wieder verworfen. Neue Fossilfunde aus China belegen, dass die Vögel als einzige noch lebende Untergruppe der Dinosaurier zu betrachten sind.



Plateosaurus.
Foto: Sauriermuseum Frick (AG).



Trittsiegel von Diplodocus auf einer Kalksteinplatte bei Courtedoux (JU). Der pflanzenfressende Dinosaurier Diplodocus war in der Schweiz zur Jura-Zeit heimisch. Foto: Rép. et Canton du Jura, Section d'archéologie et paléontologie, Porrentruy (JU).

Steinzeit

Zeitsteine des Menschen



Megalithgruppe von Clendy bei Yverdon (VD). Bis 4,5 Meter hohe Findlinge wurden vor zirka 5000 Jahren in zwei Reihen und einem Halbkreis aufgestellt. Foto: Schweizerische Geotechnische Kommission, Zürich.

Steinzeit

Die Steinzeit ist nach dem vorwiegenden Gebrauch von Steinwerkzeugen durch den Menschen benannt. Sie begann in Mitteleuropa vor etwa 2,4 Millionen Jahren und endete um 2000 vor Christus. Die Menschen entwickelten in der Steinzeit erstaunliche Fertigkeiten.

In der **älteren Altsteinzeit** lebten die Menschen als Jäger und Sammler. Sie stellten Faustkeile und andere einfache Werkzeuge aus Stein her, indem sie Splitter von einem Block abschlugen, bis die gewünschte Form übrig blieb. Später kamen Werkzeuge aus Tierknochen dazu. An der Vervollkommnung der Steinwerkzeuge ist der technische Fortschritt und die geistige Entwicklung der Menschen erkennbar. Der bisher älteste Faustkeil in der Schweiz ist mindestens 100 000 Jahre alt und wurde 1974 bei Pratteln (BL) gefunden.

Während der **mittleren Altsteinzeit** nahm die Besiedlungsdichte der heutigen Schweiz zu. In der Höhle Cotencher, bei Rochefort in der Areuseschlucht (NE), wurden 1964 an einem steinzeitlichen Lagerplatz Geräte aus Feuerstein und der Oberkiefer einer Frau gefunden. Diese «Dame von Cotencher» lebte vor zirka 50 000 Jahren. In Cotencher ist eine weitere steinzeitliche Neuentwicklung, die Nutzung von Feuerstellen, nachgewiesen. Diese Menschen waren Neandertaler. Allmählich wurden die Neandertaler durch den «modernen» Menschen, den Homo sapiens, abgelöst.

Epoche	Zeitspanne
Ältere Altsteinzeit	500 000 - 100 000 v. heute
Mittlere Altsteinzeit	100 000 - 40 000 v. heute
Jüngere Altsteinzeit	40 000 - 8000 v. Chr.
Mittelsteinzeit	8000 - 5000 v. Chr.
Jungsteinzeit	5000 - 2000 v. Chr.

Zeittafel der Steinzeit

Die **jüngere Altsteinzeit** begann vor zirka 40 000 Jahren. Die Menschen mussten nun mit der grössten Kälte der letzten Eiszeit, dem weitesten Gletschervorstoss und einer kargen Pflanzenwelt fertig werden. Erst gegen Ende der jüngeren Altsteinzeit wurde es rasch wärmer und der Mensch konnte auch das Gebiet der Schweiz wieder besiedeln. Geprägt wird diese Periode durch die Kunst des Homo sapiens. Berühmt sind die Höhlenmalereien der jüngeren Altsteinzeit. Zudem fertigten die Menschen Schmuckknöpfe und -anhänger sowie kleine Tier- und Menschenstatuen aus Knochen und Mammut-Elfenbein an. Besonders schöne und charakteristische Kunstwerke aus dieser Zeit wurden in zwei Höhlen im Kanton Schaffhausen gefunden.

Die **Mittelsteinzeit** fällt grob mit dem Beginn der Nacheiszeit, dem sogenannten Holozän, vor etwa 8000 Jahren vor Christus zusammen. Die Jäger weiteten nun ihre Reviere in die Alpen aus. Dort fanden sie harten Bergkristall, aus dem sie ebenfalls Werkzeuge herstellten. Pfeil und Bogen sind wichtige Entwicklungen der Mittelsteinzeit.



Auf ein Geweih geritztes witterndes Rentier. Fund aus der altsteinzeitlichen Wohnhöhle Kesslerloch bei Thayngen (SH). Foto: Rosgartenmuseum Konstanz.

Ein eiszeitliches Höhlendrama

Bei Bichon (La Chaux-de-Fonds, NE) wurde in einer Höhle das vollständige Skelett eines Jägers gefunden, der dort in der jüngeren Altsteinzeit vor rund 14 000 Jahren starb. Daneben liegt das Skelett einer Höhlenbärin, der eine Pfeilspitze aus Feuerstein in einem Rückenwirbel steckte. Vermutlich gelang dem Jäger kein sauberer Schuss, so dass die Bärin sich für die tödliche Verletzung rächen konnte, bevor sie ihr erlag.

In der **Jungsteinzeit** wurden die Menschen allmählich sesshaft, Ackerbau und Viehzucht kamen auf. In der Schweiz geschah dies vor etwa 5000 Jahren. Die Wälder hatten sich seit dem Ende der Eiszeit ausgedehnt und lieferten reichlich Holz für den Bau der ersten Dörfer. Dies war die Zeit der Pfahlbauer. Rund 300 auf Pfählen gegründete Seeufersiedlungen sind bislang in der Schweiz bekannt. Die erste Siedlung wurde 1854 am Ufer des Zürichsees bei Obermeilen (ZH) entdeckt. Der Wasserstand des Sees war in jenem Winter so tief, dass die Pfahlbauten zum Vorschein kamen. Bei Cortaillod am Neuenburgersee und in Arbon am Bodensee wurden ganze Dörfer aus dem vierten Jahrtausend vor Christus ausgegraben.

In der Jungsteinzeit wurden feine Klingen, Messer und Pfeilspitzen aus Steinen geschlagen; Beile und Äxte wurden geschliffen. Die Menschen der Jungsteinzeit stellten Megalithen auf.



Modell einer in Arbon (TG) ausgegrabenen Seeufersiedlung um das Jahr 3400 vor Christus. Foto: Amt für Archäologie, Frauenfeld (TG).

Steinspezialisten am Werk

Die Bevölkerung der Steinzeit nutzte die steinreiche Schweiz gezielt als «Supermarkt». Klingen, Bohrer und Pfeilspitzen fertigten sie aus hartem Feuerstein, seltener auch aus Bergkristall. Für Steinbeile nahmen sie harte und zähe Gesteine wie Serpentinit – so zersprangen die Klingen nicht beim Fällen. Zum Schleifen von Knochen- und Steinwerkzeugen nutzten die Handwerker quarzreiche Sandsteine. Ab der Jungsteinzeit mahlte man Getreide auf Handmühlen aus Granit oder Gneis. Um Brot zu backen, entfachte die Köchin das Feuer mit Feuerstein und Pyrit (Katzengold). Die Menschen der Steinzeit trugen Schmuck aus durchbohrten Kieselsteinen, Muscheln und Schneckenhäuschen. In der Regel besorgten sie sich die Rohsteine aus der Umgebung und bearbeiteten sie selbst. Seltener wurden fertige Werkzeuge aus der Ferne in Schweizer Dörfer getragen. Zum Beispiel kamen Dolche aus Feuerstein aus Frankreich und wurden sogar über die Alpen aus Oberitalien gebracht.



Pfeilspitzen aus dem jungsteinzeitlichen Dorf Tägerwilen (TG), gefertigt aus Feuerstein und Bergkristall. Foto: Amt für Archäologie, Frauenfeld (TG).

Menhire

Ganz besondere «Zeitsteine» aus der Steinzeit sind die geheimnisvollen senkrecht stehenden Menhire. Sie sind vor allem in der Westschweiz anzutreffen. Beeindruckend sind die rätselhaften Steindenkmäler von Clendy bei Yverdon (VD). Mühevoll bewegten zu Beginn des dritten Jahrtausends vor Christus die Bewohner der Dörfer Clendy und Champ-Pittet tonnenschwere Blöcke (Findlinge) wahrscheinlich auf Baumstämmen heran, um sie in Reihen und einem Halbkreis aufzustellen. Sie bearbeiteten einige Blöcke leicht, um ihnen menschliche Züge zu geben. Vermutlich beruhte die Anordnung der Menhire auf astronomischen Beobachtungen. Imposante Menhire finden sich auch bei Essertes und Grandsons (VD) und bei Bonvillars (NE). Der grosse Menhir von Essertes ist mit 25 Tonnen der schwerste der Schweiz.

Auch im Bündnerland gibt es Menhire. Allerdings sind diese etwas jünger, aus der mittleren Bronzezeit, 1600 bis 1200 Jahre vor Christus. Die Kultstätte von Falera umfasst 26, teils in einer genauen Reihe aufgestellte Menhire.



Kultstätte in der Gemeinde Falera (GR), westlich von Flims. Foto: U. Welti, Falera.

Felszeichnungen

Die vorgeschichtlichen Felszeichnungen auf Crap Carschenna bei Sils im Domleschg (GR) wurden 1965 entdeckt. Zuvor hatte man solche Zeichensysteme nur aus den Süd- und Westalpen gekannt. Dargestellt sind Tiere, Menschen und geometrische Muster. Die Zeichensysteme waren wahrscheinlich Mitteilungen an Begegnungsorten der Menschen. Vermutlich wurden die Zeichnungen mit Steinpickeln und Bronzemeisseln in den Fels geritzt. Das genaue Alter der Bilder ist bis heute unbekannt. Die Muster stammen am ehesten aus der Jungsteinzeit oder frühen Bronzezeit, die Tier- und Menschendarstellungen aus der Bronze- und Eisenzeit.



Felszeichnungen Crap Carschenna (GR): Scheiben aus konzentrischen Kreisen mit einer kleinen Schale in der Mitte. Foto: Archäologischer Dienst, Chur (GR).

Kleines Lexikon steinzeitlicher Kunstwerke

Menhir – Altes Keltisch für Langsteine, aus «men» (Stein) und «hir» (lang). Der Begriff umfasst alle vertikal aufgerichteten Steine. Menhire stehen einzeln, in Reihen und in Kreisen.

Megalith – Griechisch für Grosssteine, aus «megas» (gross) und «lithos» (Stein). Der Begriff bezeichnet alle grossen Steine, mit denen Menschen vorgeschichtliche Kultur-denkmäler und Gräber (Dolmen) bauten. Ein nicht näher bekanntes Steinzeitvolk schuf die sogenannte Megalith-Kultur.

Monolith – Einzelner bearbeiteter Menhir, manche sind kunstvoll gestaltet.

Schalenstein (Zeichenstein) – Blöcke mit sorgfältig eingearbeiteten, mehrere Zentimeter grossen Grübchen. Diese sind kreisrund, vereinzelt auch oval.

Cromlech (Steinkreis) – Keltisch für Halbkreise oder Kreise aus Megalithen. In der Bretagne sind sie häufig und werden als Enceintes bezeichnet. Steinkreise sind auch auf Irland und den britischen Inseln verbreitet, zum Beispiel der berühmte Stonehenge in Südengland. Steinkreise stehen vielmals am Ende einer Steinallee (alignement). In der Schweiz gibt es keine richtigen Steinkreise.

Erze, Kohle und Salz

Grundsteine unserer Zivilisation



In früheren Zeiten gab es in der Schweiz zahlreiche Bergwerke. Mit oft einfachen Mitteln wurden Erze, Kohle und Salz gewonnen. Foto: Pro Gonzenbergwerk, Sargans (SG).

Erze, Kohle und Salz

Erze, Kohle, Salz und weitere mineralische Rohstoffe sind unverzichtbare Grundmaterialien unserer Zivilisation und unseres Wohlstands. Die Verfügbarkeit dieser Rohstoffe war entscheidend für die Industrialisierung der Schweiz seit dem 19. Jahrhundert.

Bis ins 20. Jahrhundert wurden in der Schweiz verschiedene Erze abgebaut, vor allem Eisenerz. Die ältesten Schmelzöfen wurden im Waadtländer Jura bereits in der jüngeren Eisenzeit betrieben. Funde von Schwertern, Lanzenspitzen und Fibeln bei La Tène (NE) zeugen von der Bedeutung des Eisens für die keltische Kultur. Im Mittelalter entwickelte sich die Eisenverarbeitung zu einem blühenden Wirtschaftszweig. Der zunehmende Bedarf an Holzkohle für die Schmelzöfen hatte aber Entwaldungen zur Folge, die sogar Grund für Aufstände waren, wie 1342 in Orsières (VS). Während des Zweiten Weltkriegs waren die Importmöglichkeiten eingeschränkt, so dass die Schweiz 1,1 Millionen Tonnen Eisenerz, 540 Tonnen Blei-Zinkerz und 800 Tonnen Kupfererz abbaute. Nach dem Weltkrieg konnten nur noch wenige einheimische Bergwerke den Betrieb fortführen. Die letzten beiden Eisenerzbergwerke, bei Sargans (SG) und Herznach (AG), wurden in den 1960er Jahren geschlossen.

Eine erste urkundliche Erwähnung des Kohleabbaus in der Schweiz geht auf 1548 zurück. Vor allem während der beiden Weltkriege wurde Schweizer Kohle abgebaut. Zwischen 1940 und 1947 wurden etwa 500000 Tonnen



Viele Kenntnisse über den schon vor Jahrhunderten wichtigen Bergbau wurden vom Deutschen Georgius Agricola in Wort und Bild festgehalten. Bild: Georgius Agricola «De re metallica» (1556).

Anthrazitkohle (v. a. im Wallis), 275 000 Tonnen Schieferkohle (z. B. in Uznach-Kaltbrunn, SG) und 410 000 Tonnen Braunkohle (vor allem in Käpfnach, ZH) gefördert. Diese Kohle deckte knapp 30 Prozent des einheimischen Bedarfs.

Die Salzgewinnung in der Schweiz ist wirtschaftlich und historisch wichtig. Die Gewinnung begann 1630 in den Minen und Salinen von Bex (VD). Erst seit 1837 konnte sich die Schweiz durch die Rheinsalinen vollständig selbst mit Salz versorgen.

Naturasphalt

Ein einst wichtiger Rohstoff der Schweiz, der Weltruhm erlangte, war Naturasphalt aus den Minen im Val de Travers (NE). Dort wurde seit 1711 stark bitumenhaltiger Kalk abgebaut. Bitumen ist ein zähflüssiger Erdölrückstand. Bis 1837 wurde das Gestein im Tagebau gewonnen, danach in Stollen. Von 1873 bis 1986 wurde Naturasphalt in alle Welt exportiert. Für die Asphaltierung der Strassen von London, Paris, Stockholm, New York und Sydney wurde ursprünglich Naturasphalt aus dem Val de Travers verwendet.

Abenteuer Schweizer Erdgas

Die Suche nach Erdgas und Erdöl ist ein technisches und finanzielles Abenteuer, doch Erfolgreiche können «im Geld schwimmen». Die jüngste Hoffnung zerbrach im Jahr 2004. Das in den 1980er Jahren von der Nagra im Untergrund der Nordschweiz entdeckte Kohlevorkommen liess auf Erdgas hoffen, denn aus Kohle kann Gas entweichen und im umgebenden Gestein gespeichert werden. Nach einer zwei Kilometer tiefen Probebohrung bei Weiach (ZH) musste der private Auftraggeber jedoch eingestehen: Das Gas «hätte gereicht, um ein paar Kinderluftballons zu füllen». Das bis heute einzige wirtschaftlich genutzte Erdgasvorkommen der Schweiz bleibt dasjenige von Finsterwald (LU). Von 1985 bis 1994 wurden dort 75 Millionen Kubikmeter Gas gefördert.



Auch in einer Bohrung der Nagra am Wellenberg (NW) wurde Gas angetroffen. Dieses kleine Vorkommen musste aus Sicherheitsgründen abgefackelt werden. Foto: Nagra.

Kohle – Bergwerk Käpfnach

Das Kohlevorkommen in Käpfnach bei Horgen (ZH) wurde im 16. Jahrhundert entdeckt. Die Kohle wurde ab dem 17. Jahrhundert bis 1947 abgebaut. Die Käpfnacher Kohle war günstig zu gewinnen, obwohl die Schicht nur 9 bis 45 Zentimeter dick war. Sie hatte einen recht guten Heizwert. Ihr hoher Schwefel- und Aschegehalt war jedoch sehr nachteilig. Der Schwefel führte zu üblem Geruch beim Verbrennen, er liess die Feuerungsroste und das bearbeitete Eisen schnell rosten. Daher wurde die Käpfnacher Kohle als Heiz- und Kochkohle weit weniger geschätzt als Holz und Holzkohle. Sie galt als Notlösung in Kriegszeiten, als Holz und Holzkohle zu teuer und die Kohleeinfuhr eingeschränkt waren.

Unter Palmen am Zürichsee

Die Käpfnacher Kohle entstand während der Tertiär-Zeit vor rund 16 Millionen Jahren. Im schweizerischen Mittelland herrschte damals ein warm-gemässigtes bis subtropisches Klima. Südwestlich des heutigen Zürichsees gab es ein Süsswasserbecken mit üppiger Sumpfvegetation, in das Bäche und Flüsse grosse Mengen von Geröll, Sand und Ton einschwemmten. Bei Käpfnach-Horgen bildete sich zeitweise ein Moor, das sich durch weitere Einschwemmungen absenkte. Die Pflanzen wurden erst zu Torf, dann unter Anstieg von Druck und Temperatur zu Braunkohle umgewandelt.



Lore (Kipptransporter auf Schienen), die im Bergwerk Käpfnach zum Transport der Kohle und des Schutts auf die Deponie gebraucht wurde. Auf der hintersten Lore eines Zugs fährt ein Bremser mit. Foto: Bergwerkverein Käpfnach (ZH).

Eisen

Bergwerk Herznach

In der Region Frick (AG) hatte der Abbau von Eisenerz, seine Verhüttung und Verarbeitung eine Tradition, die bis in spätrömische Zeit zurückreichte. Im Untergrund liegen zwei Meter dicke kalkige Schichten, die durch viele stecknadelkopfgrosse Eisenkügelchen rostrot gefärbt sind. Der Eisengehalt der zirka 160 Millionen Jahre alten Schichten beträgt etwa dreissig Prozent. Zwischen 1200 und 1750 bauten Bauern das Erz ab. Im Jahr 1932 wurde ein Bergwerk eröffnet, aber aus wirtschaftlichen Gründen bereits 1967 wieder geschlossen.

Eisenerz vom Gonzen

Eisenerz wurde am Berg Gonzen bei Sargans (SG) wahrscheinlich schon am Ende der Eisenzeit vor über 2000 Jahren, mit Sicherheit aber von den Römern abgebaut. Vor dem Mittelalter wurde an der Erdoberfläche abgebaut, dann bis zur Einstellung der Förderung 1966 in Stollen. Das Haupterz ist nur zwei Meter dick, enthält aber über 50 Prozent Eisen als Roteisenstein (Hämatit). Insgesamt wurden mehrere Millionen Tonnen Eisenerz aus dem Gonzen gefördert.



Im Gonzen bei Sargans (SG) wurde schräg liegendes Eisenerz abgebaut. Foto: Pro Gonzenbergwerk, Sargans (SG).

Salinen in der Nordschweiz

Speisesalz ist seit jeher ein Lebenselixier von Menschen, Tieren und Pflanzen. Im Mittelalter war das «weisse Gold» äusserst wertvoll. Salz ist auch ein wichtiger Rohstoff für die chemische Industrie.

Der Ingenieur und Salinenspezialist Carl Ch. F. Glenck entdeckte im Jahr 1836 die riesigen Steinsalzlager östlich von Basel und gründete die Saline Schweizerhalle. Die salzhaltigen Schichten aus der Trias-Zeit liegen 100 bis 300 Meter unter dem Boden, sie sind bis zu 100 Meter dick. Gewonnen wird das Salz durch Auslaugen und Einsieden. Die Nordschweizer Salinen produzieren heute jährlich etwa 400 000 Tonnen. Bis weit ins 19. Jahrhundert konnte der Kanton Basel-Landschaft dank der Abgaben auf die Salzgewinnung auf eine Staatssteuer verzichten. Die Schweiz wurde vom Salzimport unabhängig. Das reichliche Salz war für die Ansiedlung der chemischen Industrie in Basel sehr wichtig. Bereits 1844 wurde neben der Saline eine chemische Fabrik gebaut.

«Diese Suppe ess ich nicht»

Der Kanton Basel-Stadt weigerte sich bis 1864 hartnäckig, Salz aus dem benachbarten Pratteln in Basel-Landschaft zu beziehen. Zu gross war wahrscheinlich die erlittene Schmach durch die Entdeckung und Ausbeutung der Salzvorkommen in Schweizerhalle durch die Baselbieter. Dies, zumal der Basel-Städter Ratsherr und Professor Peter Merian das Vorkommen vorhergesagt hatte. Die Basel-Städter hassten zudem den Baselbieter Regierungsrat und Direktor der Saline Schweizerhalle, Stefan Gutzwiller. Dieser hatte die Baselbieter Gruppe, die die Kantonstrennung durchgesetzt hatte, angeführt. Das Salz bezogen die Basel-Städter lieber aus dem deutschen Heilbronn, obwohl es fast doppelt soviel kostete wie das Pratteler Salz.



Historische Fördertürme für Salzlauge (Riburg). Foto: Vereinigte Schweizerische Rheinsalinen, Pratteln (BL).

Kluftminerale und Gold

Reichtum und Zierde



Geschützte Mineralkluft Gerstenegg, im Jahr 1974 bei Ausbauarbeiten eines Zugangsstollens der Kraftwerke Oberhasli AG (BE) entdeckt. Die Kluft enthält vor allem schöne grosse Bergkristalle. Foto: Comet, Zürich.

Kluftminerale und Gold

Aussergewöhnliche Minerale sind wegen ihrer Schönheit begehrt und wertvoll. In der Schweiz wuchsen die schönsten Minerale in Klüften, die sich in Alpengesteinen gebildet hatten.

Kristalle aus den Alpen sind klassische Sammelobjekte. Bereits zu römischer Zeit wurde ein schwunghafter Handel mit ihnen betrieben. Begehrt sind heute neben Bergkristall (farblosem Quarz) zum Beispiel Rauchquarz, Fluorit, Amethyst (violetter Quarz), Rosenquarz (rosafarbener Quarz), Beryll und Granat.

Gold war früher noch viel seltener und kostbarer als heute. Dieses Edelmetall stand für Reichtum und Macht. Die Schweiz hat selbst Gold produziert. Mit den keltischen Helvetiern, die sich zirka 500 bis 400 vor Christus im Mittelland ansiedelten, beginnt die überlieferte Geschichte der Goldsuche in der Schweiz. Sie wuschen Gold aus Flüssen und Bächen. Aus keltischer Zeit sind goldene Schmuckstücke als Grabbeigaben bekannt. Bereits die Helvetier prägten eine Goldmünze. Der griechische Philosoph Poseidonios beschrieb die Helvetier als «reich an Gold, aber friedfertig» und begründete damit den legendären Ruf der Schweizer.



Strahler (Mineraliensucher) bei der Hebung eines Kristallfunds.
Foto: F. von Arx, Gurtnellen (UR).

Bergkristall

Bereits in der Antike wurden Bergkristalle zu Schmuckstücken verarbeitet und waren wirtschaftlich bedeutend. Bergkristalle sind völlig durchsichtige, farblose Quarze mit spiegelnden Flächen. Der Name stammt vom griechischen «kristallos» für Eis, denn die antiken Griechen hielten Bergkristall für versteinertes Eis. Die «Strahler», wie die professionellen Mineraliensucher in der Schweiz bezeichnet werden, hatten es vom 16. bis ins 18. Jahrhundert vor allem auf Bergkristall abgesehen. Die Funde wurden ins Ausland verkauft, wo sie Kristallschleifer zu Kunstwerken wie Prunkgefässen, Tierfiguren, Altarkreuzen und Kerzenständern verarbeiteten. Die schönsten Bergkristalle, die «Mailänder Ware», erzielte den höchsten Preis. Heutzutage sammelt man vor allem naturbelassene Kristalle und Raritäten.

Der pfiffige Pfarrer und der Bergkristall

Einer der grössten Bergkristallfunde der Alpen, mindestens 20 Tonnen, wurde 1719 am Zinggenstock im Grimselgebiet (BE) entdeckt. Ein geschäftstüchtiger Pfarrer stellte den Strahlern Betriebskapital zur Verfügung, das ihm in Bergkristall zurückgezahlt wurde. Der Pfarrer befürchtete einen Preisverfall, falls noch mehr Kristalle gefunden würden. Er konnte 1724 ein Schürfverbot erwirken, um sich Konkurrenz vom Leib zu halten, starb aber kurz darauf an einem Herzinfarkt.
Das Schürfverbot bestand so lange, bis seine Witwe alle Kristalle teuer verkauft hatte. Da sie die ersten Funde nicht ordnungsgemäss versteuert hatten, wurden drei unbearbeitete wertvolle Kristalle beschlagnahmt. Diese sind heute im Naturmuseum Bern ausgestellt.



Henkelkanne aus Bergkristall mit Drachenkopf (Mailand, spätes 16. Jahrhundert). Foto: Staatliche Kunstsammlungen Dresden.

Goldland Schweiz

Nicht nur in den Schweizer Banken liegt Gold. Seit dem Mittelalter kennt man Gold aus den Schweizer Bergen. Die «Goldene Sonne» am Calanda (GR) lieferte das Metall für mehrere Dutzend Goldmünzen. Gondo im Kanton Wallis erlebte 1892 einen wahren «Goldrausch». Kleine Goldadern treten an mehreren Stellen in den Alpen auf. «Goldnuggets» sind in der Schweiz sehr selten, sie wurden nur in wenigen Bergbächen gefunden. Das grösste Schweizer Nugget aus dem Vorderrhein bei Disentis wiegt 123 Gramm. Vor wenigen Jahren wurde im Val Sumvitg (GR) 1,4 Kilogramm flechtenartiges Gold in einer Quarzader entdeckt.



Goldwäscher an der Grossen Emme. Foto: W. Lüdi, Lauperswil (BE).

Viele Schweizer Bäche und Flüsse führen ein wenig Waschgold mit. Besonders im Napfgebiet (BE/LU), am Vorderrhein bei Disentis (GR) sowie im Tessin wurde Gold gewaschen. Noch heute werden Hobbygoldwäscher fündig, wenn auch nicht reich. Waschgold besteht in der Regel aus Goldflittern von 0,5 bis 1 Millimeter Grösse. 1500 bis 3000 Goldflitter aus dem Napfgebiet wiegen bloss 1 Gramm.



Die Bündner-Dublone, von 1813 ist eine 16-Franken-Münze aus Calandagold. Foto: Raetisches Museum Chur (Inventarnr.: M 1974.103.).

Baustoffe

Stein auf Stein



Naturnah und nützlich – die Trockensteinmauer.
Foto: Nagra.

Baustoffe

Bereits die Römer bauten mit heute gebräuchlichen Stoffen. Sie verwendeten Natursteine, brannten aus Ton Backsteine und Ziegel und erfanden sogar einen Vorläufer des Betons, den «Opus caementatum». Aus diesen Baustoffen errichteten sie beeindruckende Brücken, Prunkbauten, Badehäuser und sogar Wohnblöcke.

Im frühen Mittelalter wurden Kirchen, Klöster und Burgen aus Naturstein gebaut; erst ab dem 15. Jahrhundert kamen Wohnhäuser dazu. Mit der Industrialisierung ab dem 19. Jahrhundert wurden die Natursteine durch Backsteine und Dachziegel verdrängt. Im 20. Jahrhundert ermöglichte der Beton zuvor ungeahnte Konstruktionen. Beton wird hergestellt mit Zement, Kies und Sand. Heute werden Natursteine wieder zunehmend für Fassaden, Pflaster und Trockenmauern eingesetzt.

Die Lockergesteine Kies und Sand sind die wichtigsten nutzbaren Gesteine der Schweiz. Schotter und Splitt sind maschinell gebrochene Gesteine (v. a. aus Steinbrüchen).



Die Schweiz ist steinreich. Foto: Gettyimages.

Naturbausteine aus Steinbrüchen

Schöne Farben, abwechslungsreiche Strukturen und schillernde Minerale machen viele Naturbausteine zu wahren Blickfängen. In der Schweiz stehen sie schon immer in ausreichender Menge und Qualität zur Verfügung. Regional von Bedeutung sind Kalksteine aus dem Jura, Sandsteine aus dem Mittelland und Alpenvorland sowie vielfältige Naturbausteine aus den Alpen (v. a. Granit, Gneis und Marmor). Sie werden in Steinbrüchen aus dem Fels geschnitten oder gebrochen. Beim Kauf sollte man sich bewusst sein, dass viele Handelsnamen von Naturbausteinen nicht mit den geologischen Gesteinsbezeichnungen übereinstimmen.



Liesberger Kalkstein – Kalkstein aus der Jura-Zeit. Laufen (BL).

Teufener Sandstein – Granitischer Sandstein aus der Unteren Süsswassermolasse. Lochmüli, Teufen (AR).

Arzo-Marmor – Brekziöser Kalkstein («Buntmarmor») aus der Jura-Zeit. Arzo (TI).

Urnergranit – Grobkörniger Granit mit Feldspat, Quarz und Glimmer. Steinbruch Güetli bei Gurtnellen (UR).

Castionegranit – Metamorphes Gestein (Kalksilikatfels) mit bis 1 cm grossen roten Kristallen (Granat). Castione (TI).

Serpentinit (Poschiavo) – Metamorphes Gestein (Serpentinit) mit weichen Mineralen. Selva (GR).

Beispiele von Naturbausteinen. Fotos: Pro Naturstein, Dagmersellen.



Steinbruch Dottikon (AG), Muschelsandstein. Foto: www.picswiss.ch.

Findlinge

Findlinge sind Naturbausteine besonderer Art. Aufgrund ihrer vorzüglichen Materialeigenschaften fielen viele Findlinge bereits im Mittelalter der regen Bautätigkeit zum Opfer. Historische Beispiele für Bauten mit Findlingen sind die Mörsburg bei Winterthur, ein Wohnturm aus dem 10. Jahrhundert mit 4,6 Meter dicken Mauern aus Findlingen, die Steinerburg (12. Jahrhundert) oberhalb des Dorfs Steinach (SG) mit massiven Mauern aus Findlingen oder der Hardturm (13. Jahrhundert) in der Stadt Zürich.

Zeugen der Eiszeit

Die vom Eis aus den Alpen herantransportierten und beim Abschmelzen liegen gebliebenen Gesteinsblöcke werden als Findlinge bezeichnet. Sie sind Zeugen der Vergletscherung in der Schweiz und geben Auskunft über das Herkunftsgebiet und die Ausdehnung der Gletscher.

Hardturm in Zürich

Der Hardturm erhielt seinen Namen vom weitläufigen Eichenwald, dem Hard, der ihn zu seiner Bauzeit im 13. Jahrhundert umgab. Damals beherrschte der Wehrturm die einzige Limmatbrücke zwischen Zürich und Baden. Die über drei Meter dicken Mauern bestehen aus unbearbeiteten Findlingen. Der hohe Keller unter dem Eingangsgeschoss diente als Vorratsraum und zeitweise als Verlies für Gefangene. Heute wird der Wehrturm als Wohnhaus genutzt.



Hardturm. Foto: Kantonale Denkmalpflege (Fotoarchiv), Zürich.

Ein Dach über dem Kopf aus Ton

Dachziegel sind eine Erfindung der Griechen. In die Schweiz wurden sie von den Römern eingeführt. Erst im 11. und 12. Jahrhundert verhalf die Zunahme der Bautätigkeit durch die Gründung von Klöstern den Ziegeleien zur Blüte. Im Mittelalter brannten viele Städte ab, weil die eng stehenden Holzhäuser mit Schindel-, Stroh- und Schilfdächern Feuer fingen. Viele kleine Ziegeleien entstanden, als für Neubauten zumindest das untere Stockwerk aus Stein und das Dach mit Tonziegeln vorgeschrieben wurden.

Bis Mitte des 19. Jahrhunderts fertigte man Dachziegel von Hand mit Ton aus ortsnahen Vorkommen. Ab Mitte des 19. Jahrhunderts wurden Backsteine und Ziegel zunehmend maschinell gefertigt, anfangs mit dampfbetriebenen Maschinen.

Die Schweizer Ziegeleien sind eine bedeutende Branche. Noch etwa dreissig Betriebe stellen jährlich etwa 1,4 Millionen Tonnen Backsteine und Dachziegel her, sie decken damit nahezu den Gesamtbedarf der Schweiz. Die wichtigsten Rohstoffe sind Molassemergel und der Opalinuston.



Die Dächer von Regensberg (ZH).
Foto: Nagra.

Kies und Sand

Die wichtigsten Kies- und Sandreserven der Schweiz wurden im Quartär gebildet. Kies wird auch «Schweizer Gold» genannt, weil es unentbehrlich aber reichlich vorhanden ist. Die rasch wachsende Bedeutung des Werkstoffs Beton sowie erhöhte Qualitätsanforderungen an Strassenbaumaterial trieben ab 1960 den Bedarf an Kies und Sand in die Höhe. Zahlreiche Entnahmegruben entstanden. Seither sind diese Betriebe zunehmend in Nutzungskonflikte geraten, denn der Stellenwert von Trinkwasserschutz, Raumplanung, Landschaftsschutz und Lärmschutz ist gestiegen. Dank niedriger Transportkosten wird Kies heute nur noch aus grösseren Gruben entnommen (z. B. im Rafzerfeld ZH) und in zunehmenden Mengen importiert. Viele kleine Gruben wurden deshalb stillgelegt.

In der Schweiz werden jährlich knapp 50 Millionen Tonnen Kies und Sand von über 200 Unternehmen gewonnen. Dies entspricht etwa 4 Kubikmeter pro Einwohner und Jahr.



Kiesgrube bei Aadorf (TG). Foto: Nagra.

Und danach?

Was geschieht mit den Löchern in der Landschaft?
Steinbrüche, Kies- und Tongruben greifen schwerwiegend in die Landschaft ein. Der Betreiber muss die Verträglichkeit für die Umwelt sichern und aufzeigen, dass nach dem Abbau eine andere Nutzung möglich ist.

Steinbrüche können häufig nicht wieder aufgefüllt werden, weil geeignetes Material fehlt. Eine naturnahe Gestaltung ist oft am besten umsetzbar, die Nutzung für Freizeit oder als geologisches Naturdenkmal kann gleichwertig sein. Die meisten Schweizer Kiesgruben liegen in der Landwirtschaftszone. Viele werden nach Abbauende aufgefüllt und der Landwirtschaft zurückgegeben.

In Tongruben sammelt sich Wasser in Feuchtstellen und Tümpeln an, in die bedrohte Tier- und Pflanzenarten einwandern. Deshalb werden viele Gruben nach der Abbauphase als naturnahe Gebiete geschützt. Bei der Suche nach Standorten für Abfalldeponien werden Tongruben mit einbezogen, da der Untergrund gering durchlässig ist.



Rekultivierte Kiesgrube bei Hüntwangen: Die Maisfelder liegen heute 30 Meter tiefer als früher, an den neuen Böschungen wächst Wein oder sitzen Zuschauer. Foto: Open Air Kino Amphitheater, Hüntwangen (ZH).

Hohlräume im Untergrund

Baumeister Natur und Mensch



Natur und Mensch stossen als Baumeister selten so direkt aufeinander wie beim Fluehüsli in Krauchthal (BE), das in eine natürliche Höhle hineingebaut wurde. Foto: www.picswiss.ch.

Hohlräume im Untergrund

Fast alle **Höhlen** der Schweiz liegen in den kalkreichen Gebieten des Helvetikums und des Juras. Sie entstanden durch Auslaugung von Gestein. Wasser fliesst durch Kalkstein unterirdisch entlang von Klüften und Schichtgrenzen ab. Dabei wird der Kalkstein aufgelöst und Hohlräume entstehen. Diese können weit verzweigte Höhlensysteme bilden. Andere Höhlentypen sind bei uns selten.

Für **Verkehrstunnel** kann man sich das Gestein nicht aussuchen. Man muss diejenigen Gesteine durchqueren, die «auf dem Weg» liegen. Dies gilt auch für Wasserstollen und Kavernen des Militärs. Sie werden dort gebaut, wo man sie braucht. Beim Tunnelbau stellen unerwartete Gesteine und Wassereinbrüche die Ingenieure und Mineure oft vor grossen Herausforderungen. Daher ist der Tunnelbau bis heute, trotz grosser Fortschritte bei der Vorerkundung der Gesteine, nicht ins letzte Detail planbar.

Geologische Tiefenlager sind nach Überzeugung vieler Experten die sicherste Lösung zur Lagerung von Schadstoffen wie radioaktiven Abfällen. Für die Tiefenlager stellt man sehr hohe Anforderungen an das Gestein. Bestehende Tunnels, Stollen und Kavernen sind meist ungeeignet, da bei ihrem Bau andere Anforderungen als für Tiefenlager gestellt wurden.



Schöne Sinterformationen im Bärenschacht (BE) in 1000 Meter Tiefe. Tropfsteine stehen als Symbol für langsame Veränderungen im Untergrund, sie wachsen bis höchstens einen Millimeter pro Jahr. Foto: Arniko Böke, Basel.

Das Hölloch

Das Hölloch im Muotatal (SZ) ist mit 190 Kilometern bekannter Länge das grösste Höhlensystem der Schweiz, die derzeit zweitlängste Höhle Europas und viertlängste der Welt. Das Wasser hat das verästelte, über mehrere hundert Höhenmeter verlaufende Höhlensystem aus Kalksteinen des Helvetikums herausgelöst. Wechselnde Wasserzufuhr und die schnelle Versickerung führen zu enormen Schwankungen der Wasserführung innerhalb der Gänge.

Bereits 1905 wurde ein Kilometer der Höhlen mit Treppen und Beleuchtung begehbar gemacht, obwohl damals erst vier Kilometer des Höhlensystems erforscht waren. Der Besucherstrom blieb aber aus. Später zerstörten zwei Hochwässer in den Gängen die Einrichtungen. Im Jahr 1952 wurden erstmals Höhlenforscher durch einen unerwartet raschen Anstieg des Wasserspiegels im Hölloch eingeschlossen. Die vier Forscher konnten sich erst nach zehn Tagen retten, als der Wasserspiegel wieder gesunken war. Darunter war Alfred Bögli, der später durch Forschungen zur Höhlenbildung sich und das Hölloch weltbekannt machte. Heute weiss man, dass der Wasserspiegel im Höhlensystem des Höllochs bis zu 180 Meter schwanken kann.



Professor Alfred Bögli im Hölloch (30. Dezember 1980). Foto: B. Fuchs, Langnau am Albis (ZH).

Gotthard-Basistunnel

Durch die Basis des «Gotthardmassivs», zwei Kilometer unter den Gipfeln, wird eine schnelle Nord-Süd-Bahnverbindung durch die Alpen gebaut. Mit 57 Kilometern entsteht der längste Tunnel der Welt. Baubeginn war 1996, Eröffnung soll 2015 sein. Das Tunnelsystem besteht aus zwei einspurigen Röhren, die durch Querstollen miteinander verbunden sind. Die höchste Stelle des Tunnels liegt nur 550 Meter über Meer, etwa auf gleicher Höhe wie Bern. Zwei Basistunnel durch den Zimmerberg und den Ceneri werden die Durchquerung der Schweiz weiter beschleunigen.

Der Basistunnel am Gotthard durchquert verschiedene Gesteine der Zentralalpen. Im harten Gneis und Granit auf der Nord- und Südseite «fressen» sich Tunnelbohrmaschinen täglich im Durchschnitt etwa 20 Meter durch den Fels. Weiche und stark wasserführende Gesteine sind für die Tunnelbauer anspruchsvoller, sie werden durch Bohren und Sprengen ausgebrochen. Zum Beispiel kommen im Untergrund von Sedrun (GR) die Tunnelbauer in weichen Gesteinen bestenfalls sechs bis neun, teils sogar nur einen Meter am Tag voran. Wegen der natürlichen Wärme ist es im Berg bis zirka 45 Grad Celsius heiss; die Stollenluft muss beim Bau gekühlt werden.

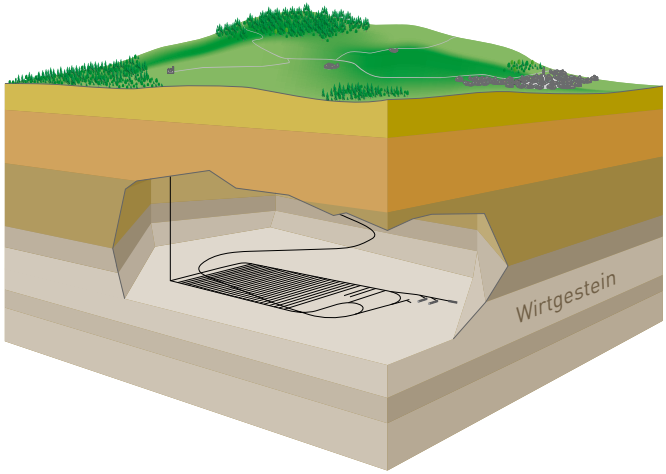


Ausbauarbeiten im Gotthard-Basistunnel.
Foto: AlpTransit Gotthard, Luzern.

Geologische Tiefenlager

Ein Standort für ein geologisches Tiefenlager für radioaktive Abfälle muss verschiedenen Anforderungen gerecht werden. Das Gestein, in dem das Lager gebaut wird (Wirtgestein), muss eine genügende Ausdehnung haben und ausreichend tief liegen. Es muss geeignete bautechnische Eigenschaften aufweisen, möglichst gering durchlässig sein und Schadstoffe zurückhalten können. All diese Eigenschaften sollten sich über sehr lange Zeiträume nicht verändern.

Die Langzeitsicherheit eines Tiefenlagers beruht auf technischen Barrieren sowie auf der natürlichen geologischen Barriere (Wirtgestein und überlagernde Gesteine). Im Lager für hochaktive Abfälle sind als technische Sicherheitsbarrieren unter anderem Lagerbehälter aus Metall und eine tonige Stollenverfüllung vorgesehen. Durch diese Barrieren sind die Abfälle langfristig sicher eingeschlossen.



Von der Nagra vorgeschlagenes Konzept für ein geologisches Tiefenlager für hochaktive Abfälle in einer Tiefe von etwa 600 bis 700 Meter. Opalinuston, Molassemergel oder kristalline Gesteine sind als Wirtgestein möglich.

Natur-gefahren

Wenn Steine sich bewegen



Bergsturz von Randa (VS) vom 9. Mai 1991.
27 Millionen Kubikmeter Fels stürzten ins Tal, unterbrachen Bahnlinie und Strasse nach Zermatt und stauten die Vispa auf.
Foto: Photo Klopfenstein, Adelboden (BE).

Naturgefahren

Die Schweiz wird seit jeher von Naturkatastrophen heimgesucht. Felsstürze, Rutschungen, Murgänge, Stürme und Überflutungen führen immer wieder zu grossen und lebensbedrohlichen Schäden.

Gefahren im Gebirge

Die weltweite Erwärmung wirkt sich bei uns besonders stark im Gebirge aus: Gletscher schmelzen schneller, ihr Rückzug ist beeindruckend. Weniger offensichtlich ist, dass tauender Dauerfrost Fels und Böden lockert. Diese können als Schuttströme (Murgänge), Steinschläge oder Rutschmassen ins Tal hinabstürzen.

Durch Rutschungen, Murgänge und Steinschlag gefährdete Gebiete liegen vor allem in den Alpen, aber auch in Jura und Mittelland. Die Erdrutsche und extremen Hochwässer der letzten Jahre zeigen, dass die Beherrschung der Natur ihre Grenzen hat: Schutzbauten können Gefahren verringern, doch völlige Sicherheit ist unerreichbar.

Erdbeben

Die Gefahr von Erdbeben gilt in der Schweiz als mässig bis mittel. Erhöht ist sie im Wallis, in der Region Basel, in der Zentralschweiz, im Engadin und im St. Galler Rheintal (vgl. Seite 17). Erst seit Anfang des 20. Jahrhunderts kann man die Stärke von Erdbeben mit speziellen Messgeräten (Seismografen) aufzeichnen. Die Bebenstärke wird als Magnitude angegeben. Beben, die zum Beispiel Möbel verschieben und Gebäude leicht beschädigen, entsprechen etwa der Magnitude 5. Sie sind in der Schweiz einmal innerhalb von 10 Jahren wahrscheinlich. Beben, die Gebäude schwer beschädigen und teils zum Einsturz bringen, entsprechen etwa der Magnitude 6. Man erwartet sie einmal in 100 Jahren. Von Magnitudenzahl zu Magnitudenzahl wächst die freigesetzte Energie um etwa das 30fache und die Bodenbewegung um das 10fache.

Vulkane

Vulkane faszinieren – ihre Ausbrüche sind der Inbegriff der Naturgewalt. Ganze Landstriche haben sie in Schutt und Asche gelegt. Vor Jahrhunderten glaubte man noch, Vulkane seien das Tor zur Hölle.

Der Schweiz liegen die aktiven Vulkane Süditaliens am nächsten. Inaktive Vulkane befinden sich im Kaiserstuhl nahe Freiburg im Breisgau (Ausbrüche vor 18 bis 13 Millionen Jahren) und im Hegau nahe dem Bodensee (aktiv vor 14 bis 7 Millionen Jahren). Beide Vulkangebiete gelten als erloschen.

Meteorite

Viele Gesteinsbrocken aus dem Weltall treten in die Luftschicht der Erde ein. Glücklicherweise verglühen die meisten dabei. Nur grosse Brocken treffen auf die Erdoberfläche, und wenige richten Schaden an. Die Steine vom Himmel nennt man Meteorite. Das grösste Schweizer Meteoritenstück wurde im Jahr 1886 bei Rafrüti (BE) gefunden, es wog 18 Kilogramm. Nur 200 Kilometer nördlich der Schweiz schlug vor zirka 15 Millionen Jahren ein etwa kilometergrosser Meteorit ein, explodierte und verwüstete in einem Umkreis von mindestens hundert Kilometern die Umgebung. Der Einschlag hob einen Krater von zirka 25 Kilometer Durchmesser aus, das heutige Nördlinger Ries in der Schwäbisch-Fränkischen Alb.



Der Eisenmeteorit von Twannberg (BE) wurde 1984 gefunden, er wog 15,9 Kilogramm. Foto: Naturhistorisches Museum der Burgergemeinde, Bern.

De Berg chunnt

Bei Arth-Goldau (SZ) rutschte nach regenreichen Jahren am 2. September 1806 eine rund 40 Millionen Kubikmeter grosse Felsmasse aus Nagelfluh auf durchnässten Mergel-Gleitschichten vom Rossberg ab. Wald, Erde, Steine und Felsen donnerten ins Tal. Zuvor hatten sich erste Erdspalten und Risse gezeigt, man hörte das Krachen von Tannenwurzeln und erste Steinmassen hatten sich vom Berg gelöst. Diese Warnzeichen wurden von den meisten Bewohnern nicht ernst genommen. Am Unglückstag wurde innerhalb von drei bis vier Minuten ein Gebiet von 6,5 Quadratkilometern samt Dörfern mit Schutt zugedeckt. Im Lauerzersee verursachte der Bergsturz eine zerstörerische Flutwelle.

457 Menschen starben bei dieser Katastrophe. Noch heute ist das Abrissgebiet des Bergsturzes gut zu erkennen, obwohl es wieder von einer Pflanzendecke überzogen ist.

Die traurige Bilanz des schrecklichen Ereignisses

Der Arzt Dr. Karl Zay aus Arth hielt in seinem «Schuttbuch» von 1807 viele Details zum Bergsturz fest:

Tödlich Verunglückte	457
Geflüchtete oder Abwesende	206
Gerettete	14
Getötetes Vieh	323
Verschüttete Wohnhäuser	111
Verschüttete Kirchen und Kapellen	4
Zerstörte Scheunen und Ställe	220



Das Abrissgebiet des Bergsturzes von Goldau. Foto: www.picswiss.ch.

Basel die stat viel dernider

Die Geschichte lehrt uns, dass auch die Schweiz mit starken Erdbeben rechnen muss. Als letztes grosses Ereignis ging das Basler Beben vom 18. Oktober 1356 in die Annalen ein. Es war eines der stärksten, die im letzten Jahrtausend nördlich der Alpen aufgetreten sind. Weite Teile des mittelalterlichen Basels und Bauwerke im Umkreis von 30 Kilometern wurden zerstört. Der grösste Sachschaden entstand jedoch durch den Stadtbrand, den das Beben verursachte. Mindestens 100 Personen kamen ums Leben. Im Raum Basel ist das Erdbebenrisiko für Schweizer Verhältnisse besonders hoch. Wegen der Nähe zur aktiven Bruchzone des Rheintalgrabens gibt es hier besonders viele Erschütterungen.

Verheerende Naturkatastrophen in der Schweiz

Bergsturz von Flims (GR)
Vor etwa 13 000 bis 17 000 Jahren rutschte ein rund 800 Meter dickes und 3 Kilometer breites Felspaket (ca. 13 km^3) ins Tal. Das zertrümmerte Gestein überdeckte eine Fläche von 51 Quadratkilometern.

Erdbeben von Basel
Am 18. Oktober 1356 wurde die Stadt Basel zerstört. Mindestens 100 Menschen starben.

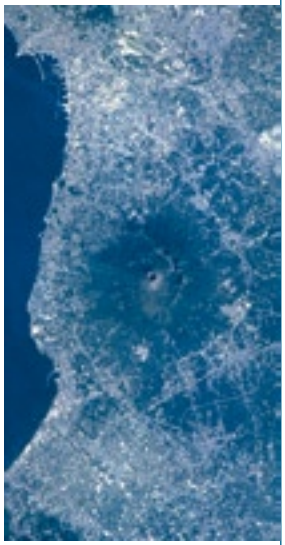
Flutwelle von Biasca (TI)
Im Jahr 1512 staute ein Bergsturz vom Monte Crenone mit einem Schuttriegel den Fluss Brenno im Bleniotal auf. Drei Jahre später, am 29./30. Mai 1515, brach der Schuttriegel, der Stausee entleerte sich mit einem Schwall. Die Flutwelle verwüstete das Tal von Biasca bis zum Langensee, 500 Personen kamen ums Leben.

Bergsturz von Goldau (SZ)
Am 2. September 1806 fanden 457 Menschen im verheerendsten natürlichen Bergsturz in historischer Zeit den Tod.



Die Zerstörungen in Basel durch das Erdbeben von 1356, nachempfunden auf einem Holzschnitt aus dem Jahr 1588. Foto: Archäologische Bodenforschung, Basel.

Aus dem Feuer geboren – Vesuv



Um den Vesuv liegt ein dicht besiedeltes Gebiet (oben Neapel). Foto: Nasa.

Viele Vulkanausbrüche wirken sich über hunderte Kilometer Entfernung aus. Der Vesuv südlich Neapel (Italien) ist von der Schweiz aus der nächste gefährliche Vulkan und einer der aktivsten der Welt.

Die Zerstörung von Pompeji

Der Ausbruch des Vesuvs am 24. August 79 nach Christus machte den Vulkan schon in der Antike berüchtigt. Er brach mit einer gewaltigen Explosion aus, die den Gipfel regelrecht wegsprengte. Der Berg stiess Lava, Asche, Gestein und eine riesige Rauchwolke aus, die den Himmel verdunkelte. Die reichen römischen Städte Pompeji und Herculaneum wurden unter einer etwa fünf Meter dicken Ascheschicht begraben. Fast 4000 Menschen erstickten.

Leben auf dem Pulverfass

Seit dem ersten bekannten Ausbruch prägt der Vesuv das Leben rund um den Golf von Neapel. Der Vulkan ist bis heute in kurzen Abständen tätig gewesen, zuletzt brach er 1944 aus. Heute sind die unteren Hänge des Vesuvs dicht besiedelt, weil der Boden sehr fruchtbar ist. Nach über 50 Jahren drohte Ende 1999 ein neuer Ausbruch. Vulkanforscher befürchteten dies, weil die Erde im Gebiet um Neapel leicht bebte. Ein weiteres Warnzeichen war der verstärkte Rauchausstoss des Kraters. Der Vesuv brach aber nicht aus.



Grosser Ausbruch des Vesuvs im Jahr 1944. Foto: www.voller-ernst.de.

Stein und Wasser

Eine enge Verbindung



Im festen Untergrund gibt es wasserleitende und wasserstauende Schichten, wie diese Eiszapfenvorhänge in einer Steilwand am Schiffenensee (FR) zeigen. Foto: R. Kozel, Bundesamt für Umwelt, Bern.

Stein und Wasser

Trinkwasser – eine kostbare Ressource: Über 160 Liter Wasser in Trinkwasserqualität verbraucht jeder Schweizer allein im Haushalt durchschnittlich, und zwar pro Tag. Etwa 40 Prozent stammen aus Quellen. Weitere 40 Prozent fördern Pumpen als Grundwasser. Knapp 20 Prozent des benötigten Wassers werden aus Seen entnommen.

Wasser versickert in den Untergrund und bildet Grundwasser. In Lockergesteinen fliesst es durch die vorhandenen Hohlräume, zum Beispiel zwischen Sandkörnern; die eiszeitlichen Kiese und Sande der Schweiz enthalten vielerorts Grundwasser. In Festgesteinen fliesst Grundwasser entlang von Klüften, Hohlräumen und Gesteinsporen.

Jeder Stein enthält Wasser in seinen Poren. Die Poren sind aber oft nicht miteinander verbunden oder so klein, dass praktisch kein Wasser durchfliessen kann. Wenn auch Klüfte und andere Trennflächen dieses Gesteins nicht durchlässig sind, kann es Grundwasser stauen. Im Untergrund können sich wasserleitende und wasserstauende Schichten übereinander abwechseln. Dann sind Grundwasservorkommen auf mehreren «Stockwerken» möglich.

Die Grundwässer unterscheiden sich durch die darin gelösten und mitgeführten Stoffe. Diese Stoffe stammen zum einen von der Erdoberfläche, zum anderen werden sie aus den Gesteinen herausgelöst.



Bei der Jakobsquelle am Kronberg (AI) sprudelt das Wasser direkt aus dem Nagelfluh-Fels. Foto: Nagra.

Messungen in Bohrungen

Bohrungen liefern Informationen nicht nur über die Gesteine und ihre Beschaffenheit, sondern auch über die Felsgrundwasservorkommen.

Für eine genaue Untersuchung von Grundwasservorkommen benötigen die Fachleute Daten über den Wasserdruck (den hydrostatischen Druck) und über die Wasserdurchlässigkeit der einzelnen Grundwasser-Stockwerke. Dazu werden im Bohrloch spezielle Untersuchungen, sogenannte Packertests, durchgeführt. «Packer» sind aufblähbare Gummipfropfen, die in das Bohrloch hinuntergelassen werden. Die Pfropfen schliessen ausgewählte Beobachtungszonen im Bohrloch nach oben und unten ab. Bohrlochwasser wird aus den isolierten Zonen heraufgepumpt und verschiedene Messungen werden durchgeführt. So lässt sich feststellen, ob Wasser vorhanden ist und unter welchem Druck es aus den umliegenden Gesteinsschichten nachfliesst. Aus der Änderung des Drucks und der Zuflussmenge mit der Zeit wird die Wasserdurchlässigkeit des Gesteins berechnet. Die chemische Analyse der entnommenen Wasserproben ergibt zum Beispiel Hinweise zur Herkunft des Grundwassers.

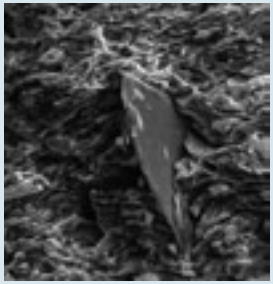


Einbau eines Packersystems in ein Bohrloch für die Langzeitbeobachtung. Die farbigen Leitungen führen in die isolierten Bohrlochabschnitte. Foto: Nagra.

Jeder Stein enthält Feuchtigkeit

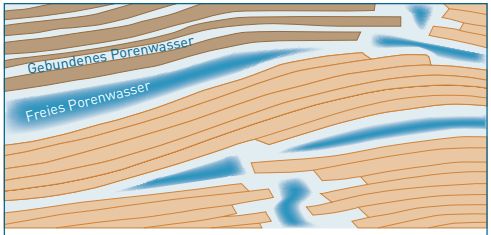
Beispiel Opalinuston

Der «Opalinuston» ist ein feinkörniges Festgestein im Jura und im Untergrund des Mittellands. Seine Wasserdurchlässigkeit ist äusserst gering. Aber selbst sehr gering durchlässige Gesteine enthalten Wasser in ihren feinen Poren. Ein Grossteil des Porenwassers ist an die blättchenförmigen Tonminerale gebunden. Insbesondere quellfähige Tonminerale lagern viel Wasser ein.



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Opalinuston. Die Probe besteht aus Tonmineralen, die sich zu blättchenförmigen Aggregaten verbunden haben. In der Mitte ein Feldspatkristall. (Bildbreite ca. 0,012 mm). Foto: H.-R. Bläsi.

Erst mit grossem technischem Aufwand im Labor lässt sich unter sehr hohem Druck etwas Wasser aus den Poren des Opalinustons herausquetschen. Untersuchungen zeigen, dass in jedem Liter Porenwasser bis zu 20 Gramm Salze gelöst sind. Das Wasser in den feinen Poren enthält noch immer Anteile von Meerwasser, das viele Millionen Jahre alt ist. Heutiges Meerwasser enthält zum Vergleich 37 Gramm Salze pro Liter.



Struktur des Opalinustons (schematisch)

Quellfähiges Tonmineral (Illit/Smectit-Wechsellagerung)

Nicht quellfähiges Tonmineral (z. B. Kaolinit)

Der kaum verbundene Porenraum im Opalinuston bewirkt eine geringe Durchlässigkeit.

Erkunden

Blick in die Tiefe



Ausschnitt aus einem Fernerkundungsbild (Seismogramm) der Nagra und Untersuchung von Bohrkernen aus der Bohrung Siblingen (SH). Foto: Nagra.

Erkunden des Untergrunds

Die Erkundung des Untergrunds ist das Fachgebiet der Geologen, Geophysiker und weiterer Erdwissenschaftler. Der ehemals mit Hammer, Kompass und Lupe ausgerüstete, Steine klopfende Geologe bedient sich heute modernster Methoden und Instrumente, um beispielsweise:

- Rohstoffvorkommen zu finden,
- Grundwasser und Erdwärme zu nutzen,
- Tunnelprojekte zu planen,
- Deponiestandorte und Tiefenlager für Abfall- und Schadstoffe zu erstellen,
- Wissenschaftliche Fragestellungen zu beantworten.

Mit Bohrungen und geophysikalischen Fernerkundungsmethoden (z. B. seismischen Messungen) werden heute Informationen über den Untergrund gewonnen.

In **Bohrungen** können Gesteins- und Wasserproben für Untersuchungen entnommen werden. Mit verschiedenen Verfahren misst man im Bohrloch zum Beispiel den Druck des Grundwassers, seine Temperatur und elektrische Leitfähigkeit (als Mass für den Salzgehalt).

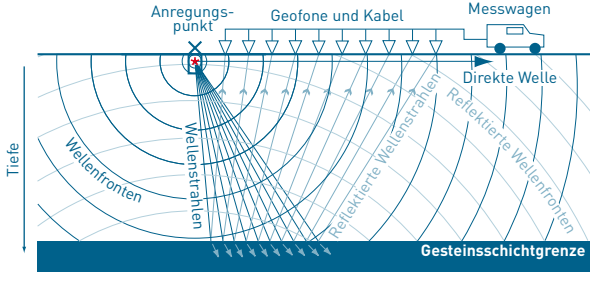
Es gibt zwei Bohrverfahren: Bei Meisselbohrungen wird das Gestein unten im Bohrloch zertrümmert. Man pumpt eine Flüssigkeit durchs Bohrgestänge, welche die Trümmer über den Ringraum an die Erdoberfläche spült. Bei den aufwändigen Kernbohrungen zermahlen Hohlkronen nur das Gestein am Rand des Bohrlochs. In der Mitte der Bohrkrone bleibt ein sogenannter Bohrkern stehen. Der Bohrkern wird abgebrochen und an die Erdoberfläche hochgezogen, wo das Gestein genau untersucht werden kann.



Bohrkrone (links), Rollenmeissel (rechts). Foto: Nagra.

Die **Seismik** (von griechisch «seismós» für Erschütterung) umfasst Verfahren zur Erforschung des Untergrunds mittels künstlicher Schallwellen. Bei der Reflexionsseismik werden die Laufzeiten von Schallwellen gemessen, die an der Erdoberfläche oder in Bohrungen erzeugt werden. Diese werden im Untergrund an Schichtgrenzen und Störzonen reflektiert. Das seismische «Echo» wird ausgewertet und interpretiert, idealerweise in Kombination mit einer Tiefbohrung. Resultat sind Profildarstellungen, die den strukturellen Aufbau des Untergrunds zeigen.

Seismische Wellenausbreitung



Der Lötschbergtunnel: Vorerkundungen können Leben retten

Kurz hinter dem Nordportal des alten Lötschbergtunnels biegt die Eisenbahn nach Osten ab und unterquert in einer weiten Kurve das Gasteretal.
Diese Linienführung wurde wegen einer fatalen Fehleinschätzung der geologischen Verhältnisse beim Tunnelbau im Jahr 1908 nötig. Das Gasteretal sollte ursprünglich geradlinig unterfahren werden. Doch gut 2,5 Kilometer hinter dem Tunnelportal brachen nach einer Sprengung über 6000 Kubikmeter Schlamm und Geröll in den Stollen ein. 25 Mineure kamen ums Leben. Das Tal ist hier 200 Meter tief mit Lockergestein aufgefüllt.

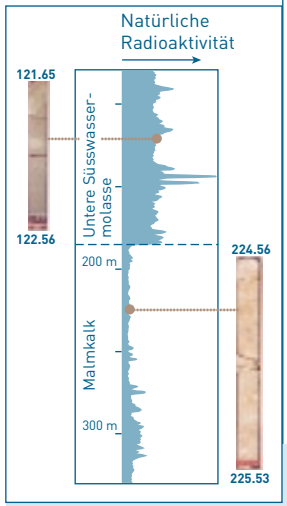
Mit gezielten Vorerkundungen hätte das Unglück vermieden werden können. Dank geologischem Know-how sind die Mineure heute viel besser geschützt. Beim Bau des 35 Kilometer langen Lötschberg-Basistunnels konnte eine ähnliche Katastrophe praktisch ausgeschlossen werden. Der Untergrund wurde vorgängig sehr gut erkundet. Alle möglicherweise schwierigen Zonen sind mit mehreren Methoden bis in die Tiefe des Basistunnels untersucht worden. Dazu wurden über zwanzig Tiefbohrungen durchgeführt und 9,5 Kilometer Sondierstollen gebaut.

Die Nagra-Tiefbohrung Weiach

In ihrem Untersuchungsprogramm zur Abklärung der Entsorgungsmöglichkeiten für radioaktive Abfälle hat die Nagra in der Nordschweiz acht Tiefbohrungen durchgeführt.

Mitte Januar 1983 wurde mit den Bohrarbeiten in Weiach (ZH) begonnen. Im November 1983 endete die Bohrung in knapp 2,5 Kilometer Tiefe in Gneisgestein des kristallinen Sockels. Sie erschloss eine 2020 Meter dicke Sedimentabfolge, die intensiv untersucht wurde. Die Bohrkerne lieferten das vollständigste Sedimentbohrprofil in der Schweiz nördlich der Alpen.

Unvorhergesehen war die Durchbohrung eines in den kristallinen Sockel eingesenkten «Trogs» mit Sedimenten aus dem Erdaltertum (Permokarbon). Dieser Trog enthält insgesamt mehr als 20 Meter Kohle. Er schränkt die Möglichkeiten, ein geologisches Tiefenlager für hochaktive Abfälle im kristallinen Sockel der Nordschweiz zu bauen, räumlich stark ein.



Ein Beispiel der Untersuchungen ist die Messung der natürlichen Radioaktivität (Gammastrahlung) im Bohrloch. Die Sedimente der Molasse (Bohrkern links) zeigen eine viel höhere natürliche Radioaktivität als die darunter liegenden Kalke aus der Jura-Zeit (Bohrkern rechts).



Bohrturm Weiach (ZH). Foto: Nagra.

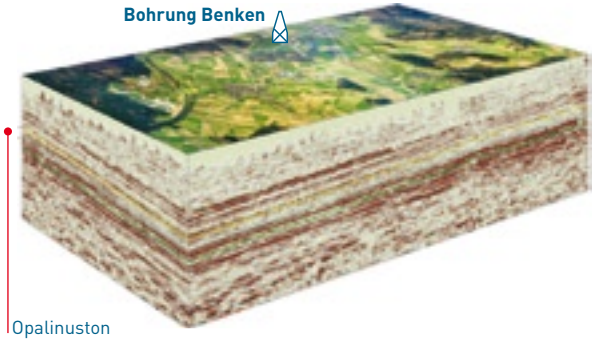
Dreidimensionale Seismik



Rund 29 000 «kleine orange-gelbe Ohren» (Geofone) lauschten auf dem Boden im Zürcher Weinland. Foto: Nagra.

Die Nagra untersuchte 1997 im Zürcher Weinland den Untergrund in einem etwa 50 Quadratkilometer grossen Gebiet. Eingesetzt wurde eine moderne Methode, die dreidimensionale (abgekürzt 3D) Seismik. Bei diesem Verfahren werden die Daten in einem dichten Messraster aufgenommen. Die Schallwellen für die 3D-Seismik werden durch kleine Sprengladungen oder mit Vibratorfahrzeugen durch Rütteln am Boden erzeugt. Der aus dem Untergrund zurückgeworfene Schall wird von speziellen Mikrofonen (Geofonen) aufgezeichnet.

Dank der 3D-Seismik konnte die Struktur des Untersuchungsgebiets lückenlos und mit hoher räumlicher Auflösung abgebildet werden. Auch kleine strukturelle Unregelmässigkeiten wurden sichtbar. Durch Vergleich mit den Bohrergebnissen der Bohrung Benken wurden die Tiefe und Lagerungsverhältnisse der Gesteinsschichten exakt bestimmt, es entstand ein «3D-Foto» des Untergrunds. Die hohe Auflösung der seismischen Abbildung bestätigt die Vorhersage, dass die Gesteinsschichten einschliesslich des Opalinustons kaum verformt sind.



Seismisches Abbild der Gesteinsschichten im Zürcher Weinland.

In diesem Taschenbuch .....

..... steht vieles, aber nicht alles. Da eine umfassende Zusammenstellung den Rahmen bei weitem sprengen würde, wurden bewusst nur einzelne Themen aus der geologischen Vielfalt herausgegriffen und mit Beispielen vertieft.

Der Herausgeber und die Autoren hoffen, dass die Lesenden Gefallen an den Themen finden und das Taschenbuch ihnen Anlass gibt, sich weiter ins interessante Thema Geologie einzulesen.

Als kleiner Service steht auf der Website der Nagra (www.nagra.ch) eine Zusammenstellung von Links zum Taschenbuch zur Verfügung.



Foto: Nagra.

Zum Abschluss

Der Pflasterstein

Es liegt ein grauer Pflasterstein
auf der Chaussee, doch nicht allein;
denn wenn allein er läge,
dann läge er im Wege;
doch so, inmitten anderer,
erfreut er alle Wanderer.
Anstatt ihn dankbar nun zu grüssen,
tritt man mit Füssen ihn, mit Füssen...!

Heinz Erhardt



Foto: Nagra.

Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle

Hardstrasse 73
CH-5430 Wettingen

Tel: 056 437 11 11
Fax: 056 437 12 07

info@nagra.ch
www.nagra.ch

nagra. aus verantwortung