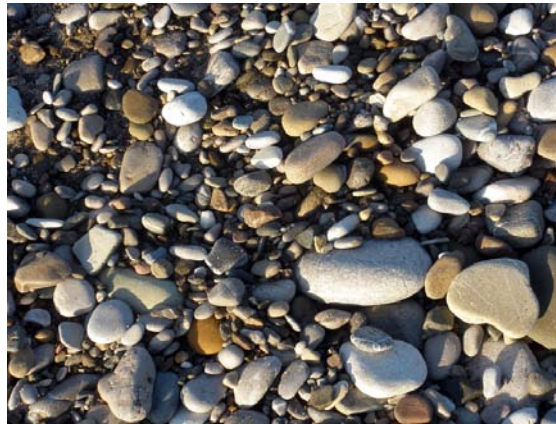


# *geo-life*

*Geologie & Tourismus*

## Einführung in die Geologie



*Mark Feldmann  
Dr.sc.nat. ETH*

*Ihr Profi für geo-kulturelle Führungen und Exkursionen  
Buchholzstrasse 58 | 8750 Glarus | 078 660 01 96 | [www.geo-life.ch](http://www.geo-life.ch)*

## Inhalt

- Aufbau der Erde
- Kristall, Mineral, Gestein
- Magmatische Gesteine
- **Sedimente**
- Metamorphe Gesteine
- Prozesse

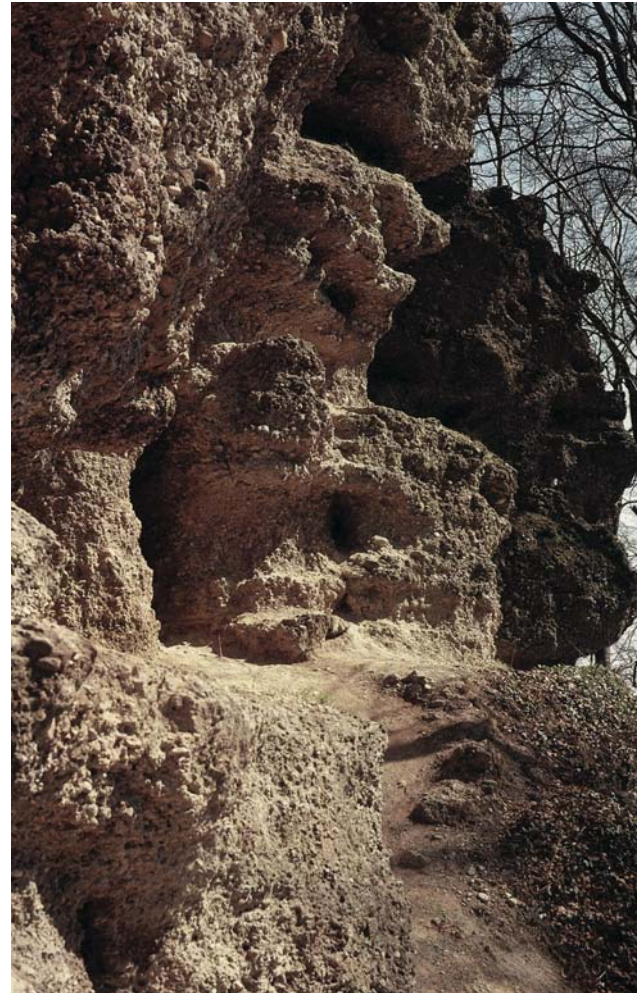
## **Sedimentgesteine**

- 1) **Klastische Sedimente**
- 2) Organisch-/chemische Sedimente

## Sedimentationsprozesse

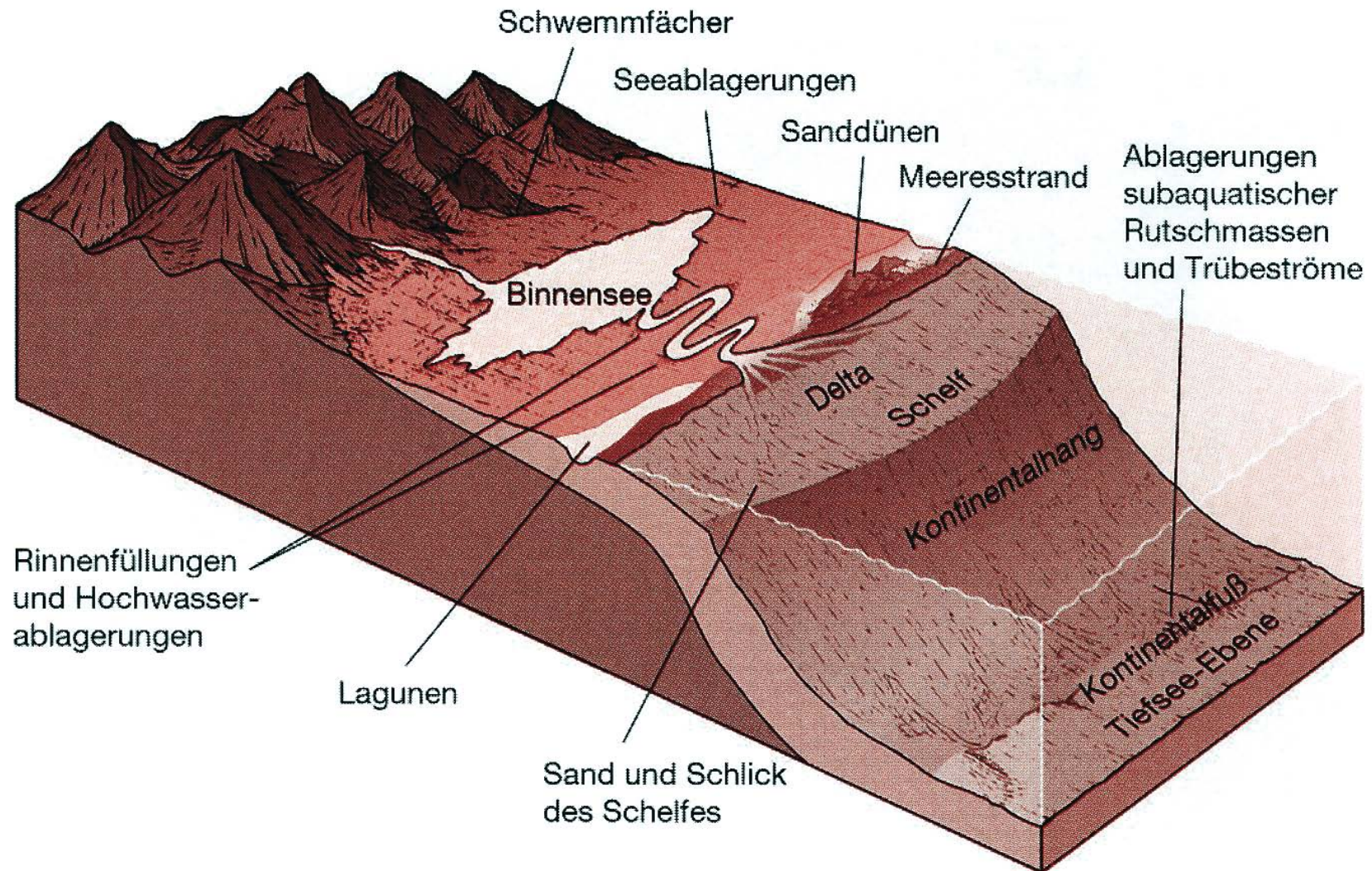
Wenn Gesteine an die Erdoberfläche gelangen, beginnen sie zu verwittern, werden erodiert, transportiert, abgelagert und am Schluss versenkt, wobei das lose Material wieder zu Stein wird. Den letzten Prozess nennt man Diagenese.

Sedimentgesteine, die in dieser Prozessfolge aus andern Gesteinen hervorgehen, nennt man **Klastische Sedimente**.



Löcherige Nagelfluh, Uetliberggipfel

Verwitterung - Erosion - Transport - Ablagerung - Diagenese



## **Verwitterung**

Je nachdem, ob es sich um ein trockenes Wüstenklima, ein feuchtes Tropenklima oder um ein gemäßigtes Klima handelt, spielen verschiedene Faktoren wie Temperatur, Regenmenge, Windstärke und Relief eine Rolle bei der Verwitterung.

Es werden zwei Verwitterungsarten unterschieden:

### **Mechanische (physikalische) Verwitterung**

Sie führt zur Auflockerung und Zerkleinerung des festen Gesteins durch mechanische Vorgänge – ohne Änderung der chemischen Zusammensetzung

Grosse Temperaturschwankungen, das Gefrieren und Auftauen von Wasser in Rissen oder das Auskristallisieren von Salzen in Spalten können zu einer Sprengung des Gesteins führen. Gesteinsmaterialien, die gegeneinander prallen oder reiben, führen zu Verwitterung.

### **Chemische Verwitterung**

Sie führt zu einer chemischen Veränderung oder auch vollständigen Lösung der Minerale eines Gesteins.

Durch den Kontakt mit Säuren wie Kohlensäure ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) oder organischen Huminsäuren können Gesteine aufgelöst und gesteinsbildende Minerale verändert werden.

## Physikalische Verwitterung - Temperatursprengung



Sahara

Wie alle Stoffe ändern auch Minerale und Gesteine bei Erwärmung und Abkühlung ihr Volumen. Die täglichen Temperaturschwankungen – während der Dämmerung kann die Temperatur in den Wüsten innerhalb von einer Stunde von über 40°C auf Werte von unter 15°C fallen – führen längerfristig zu einer Schwächung des Gesteins und schliesslich zu dessen Zerfall.

## Physikalische Verwitterung - Frostsprengung



Die Höhe des gespaltenen Felsblocks beträgt drei Meter. Antarktis

Ein ausgesprochen wirksamer Mechanismus zur Erweiterung von Rissen und Spalten ist die Frostsprengung, die auf die Expansion des gefrierenden Wassers zurückzuführen ist. Sobald das Wasser gefriert, dehnt es sich aus, und die nach aussen gerichtete Kraft ist stark genug, um die Spalten zu erweitern und das Gestein zu sprengen.

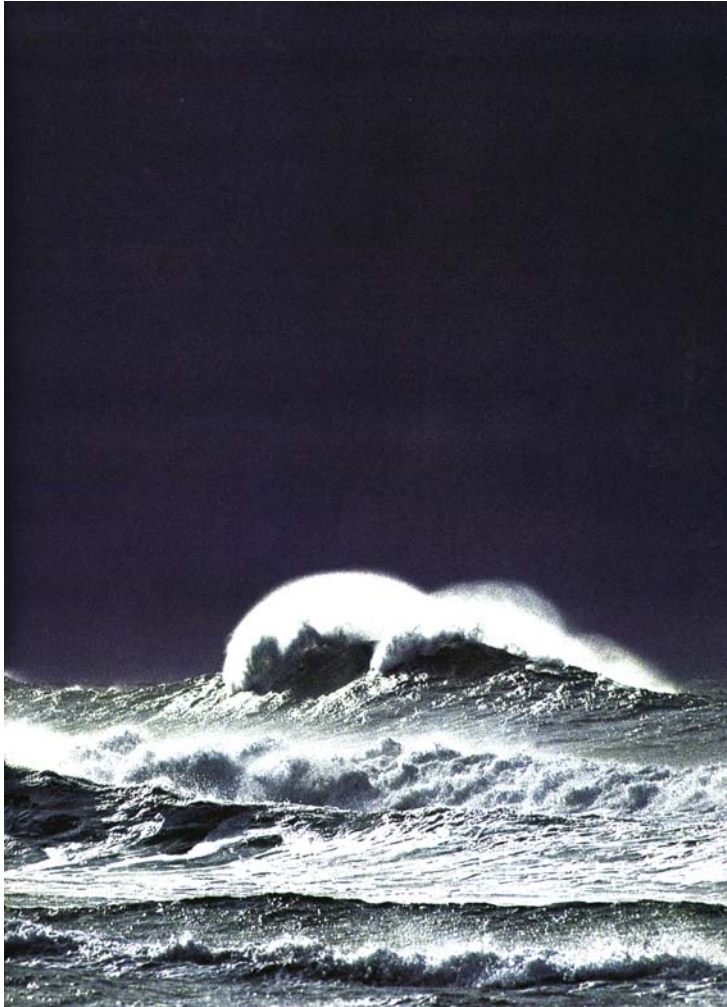


## Physikalische Verwitterung - Salzsprengung



Salzverwitterung  
Utah, USA

Auch Minerale, die in Spalten aus Lösungen auskristallisieren, können so starke Expansionskräfte ausüben, dass die Gesteine zerbrechen. Dieses Phänomen tritt in ariden Gebieten am häufigsten auf, wenn das Lösungsmittel verdunstet. Gewöhnlich handelt es sich bei solchen Mineralen um Calciumcarbonat (Kalk), gelegentlich um Gips und selten um Steinsalz



## Küstenerosion

Im Gegensatz zu den seeinwärts wandernden Deltas, werden Steilküsten durch die Brandung ständig erodiert und wandern langsam landeinwärts.



Port Campbell, Australien



Bahnhof Glarus

## Chemische Verwitterung an einer Sandsteinfassade

Kalk gehört zu den Substanzen, die sehr schnell verwittern. Deshalb zeigen historische Gebäude, die Kalkstein enthalten, die Auswirkung der chemischen Lösung durch Regenwasser.



Bahnhof Glarus

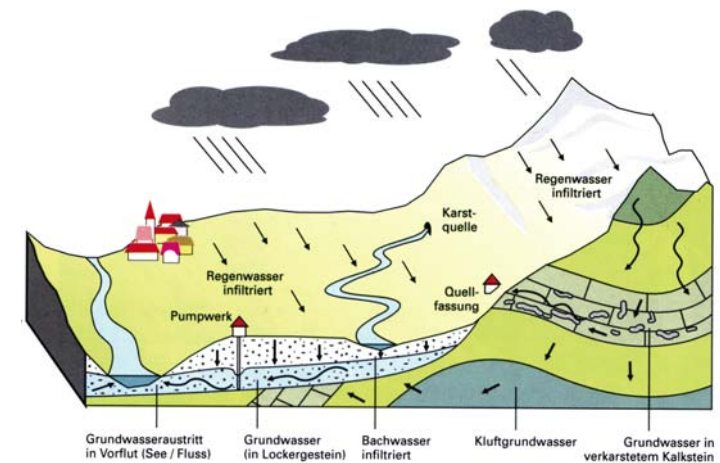
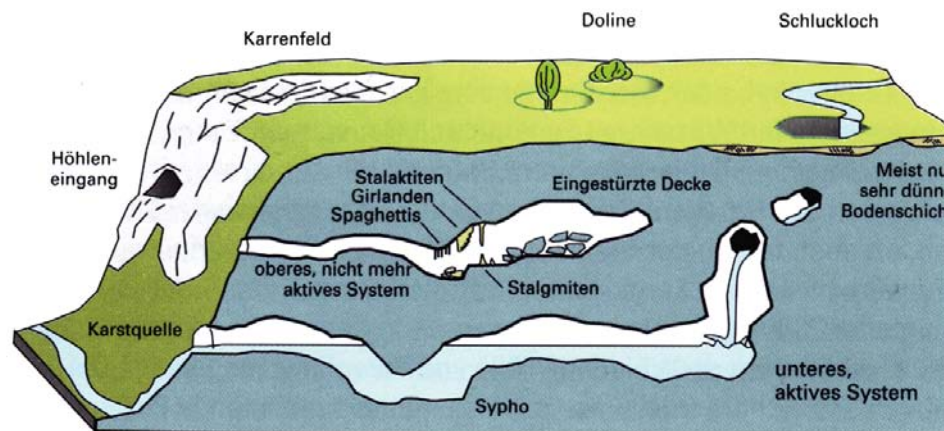


## Chemische Verwitterung – Karstsysteme

Wenn Wasser mit Kohlendioxid zusammen trifft bildet sich Kohlensäure, welches mächtige Abfolgen von Kalkstein aushöhlen kann. Auf diese Weise entstehen alle Karst- und Höhlensysteme.

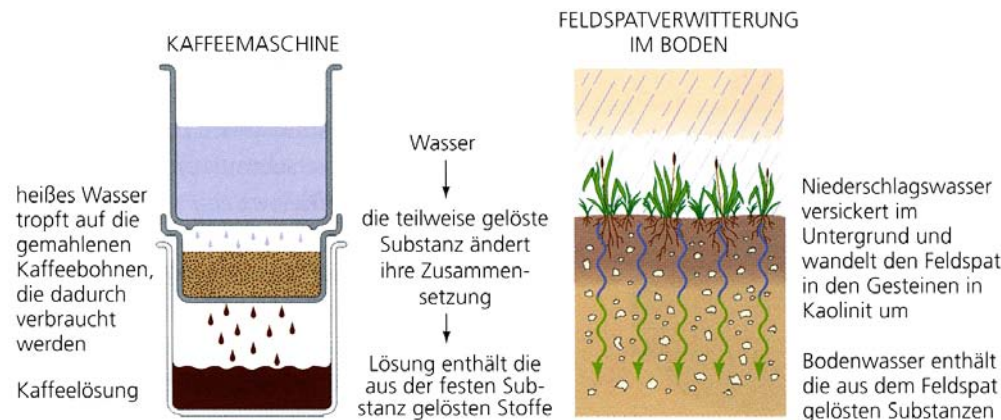


Kalk                      Kohlensäure                      Calcium Hydrogencarbonat

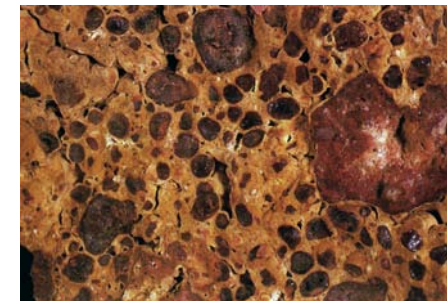


## Bodenbildung durch Verwitterung

Wird verwittertes Material mit Humus (Abbauprodukte von Pflanzen und Tieren) vermischt, entstehen Böden, die je nach Gesteinsuntergrund und Klima ganz verschieden aufgebaut sind. Charakteristisch für unser feucht-gemäßigtes Klima sind Braunerde Böden. Nicht sehr fruchtbare Böden sind typisch für tropisches Klima, da für das Pflanzenwachstum unerlässliche Elemente wie z.B. Kalium ausgewaschen wurden. In solchen Böden können sich aber Elemente wie Eisen oder Aluminium anreichern, woraus Laterit (Eisen) oder Bauxit (Aluminium) entstehen kann, die als Erze abgebaut werden können.



Laterit



Bauxit

Der Zerfallsvorgang des Feldspats ist vergleichbar mit der Zubereitung von Kaffee. Bei beiden Prozessen löst Wasser Bestandteile aus der Festsubstanz heraus und hinterlässt ein stofflich verändertes Material. Gleichzeitig entsteht eine Lösung, die jene Stoffe enthält, die der Festsubstanz entzogen wurden.

## Transport

### Schwerkraft

Meistens bleiben Verwitterungsprodukte nicht am Ort liegen, sondern werden wegtransportiert. An Berghängen kann das Material in Bewegung geraten und mit Hilfe der Schwerkraft als **Rutschung** oder **Bergsturz** zu Tal transportiert werden.



Bergsturz von Elm 1881



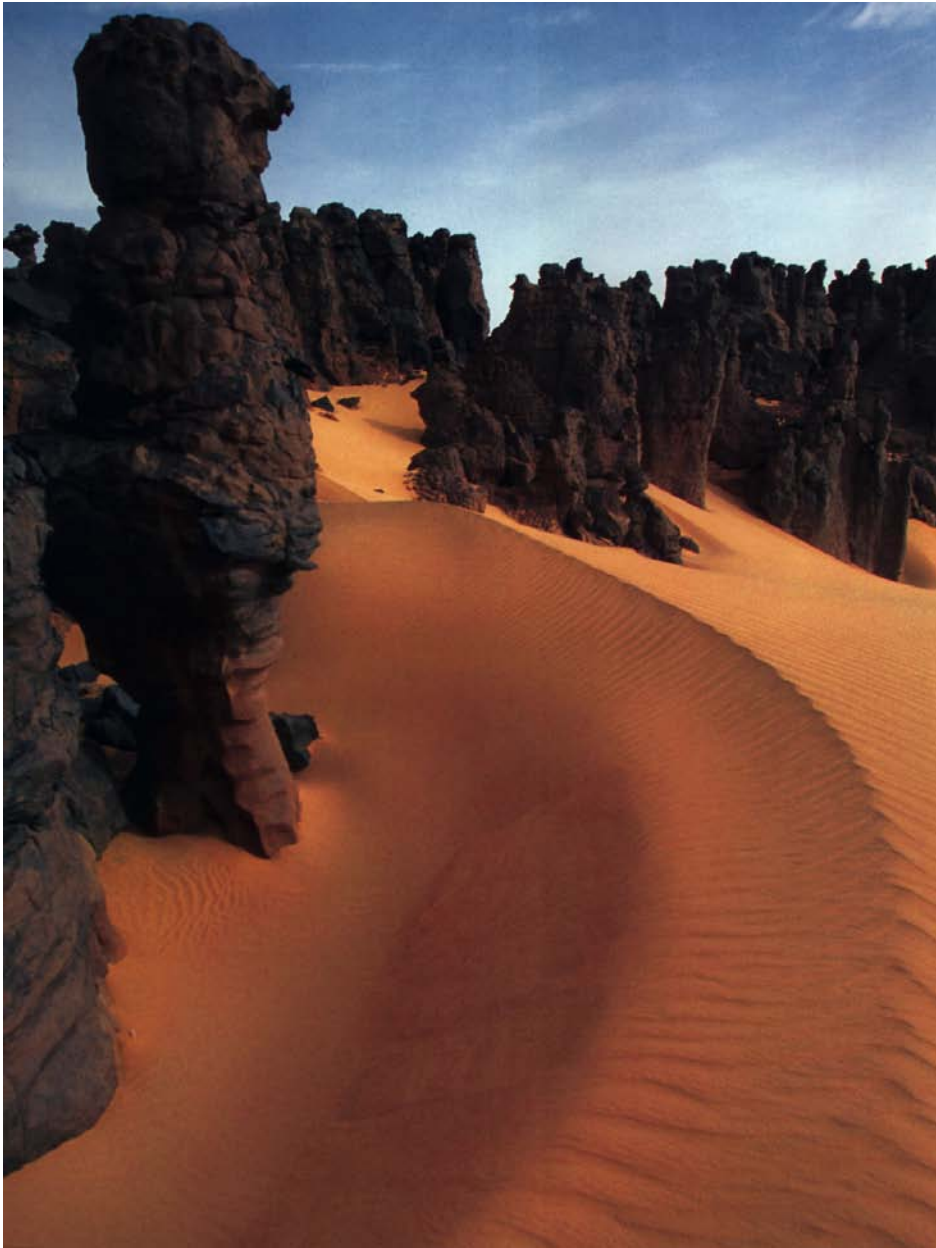
Meistens wird das Material aber nicht durch die Schwerkraft, sondern durch Wind, Eis oder Wasser transportiert.

## Wind

Der Wind als Transportmittel herrscht in Zonen ohne schützende Pflanzendecke vor, wie man sie in Wüstengebieten vorfindet. An solchen Orten wird Staub und Sand ausgeblasen und das grobe Blockmaterial bleibt als Fels- oder Steinwüste zurück. Der sandreiche Wind schleift die Felsen ab und es bilden sich bizarre Formen. Das transportierte Material wird im heißen Klimabereich in Sandwüsten oft in Form von **Dünen** wieder abgelagert. Im kühlen Klimabereich setzt sich das ausgeblasene Material als **Löss** nieder. Löss ist ein meist schlecht zementiertes Gestein, das aus feinsten Quarz und Kalkkörnchen besteht.



Sahara



Der sandreiche Wind schleift die Felsen ab und es bilden sich bizarre Formen.

Sahara





Das transportierte Material wird im heißen Klimabereich in Sandwüsten oft in Form von **Dünen** wieder abgelagert.

Sahara



Lösslandschaft in China

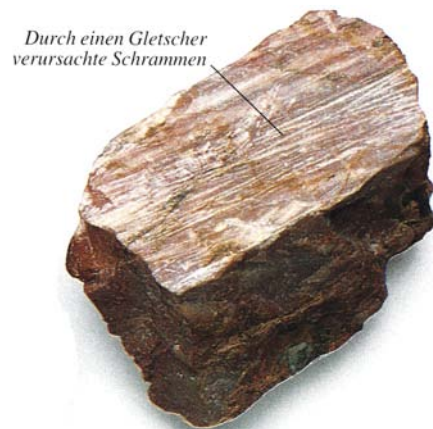
Im kühlen Klimabereich setzt sich das ausgeblasene Material als **Löss** nieder. Löss ist ein meist schlecht zementiertes Gestein, das aus feinsten Quarz und Kalkkörnchen besteht.



*Volkstümliche Vorstellung eines Gletschers («Wilderwurm-Gletscher»). Stich des 19. Jahrhunderts*

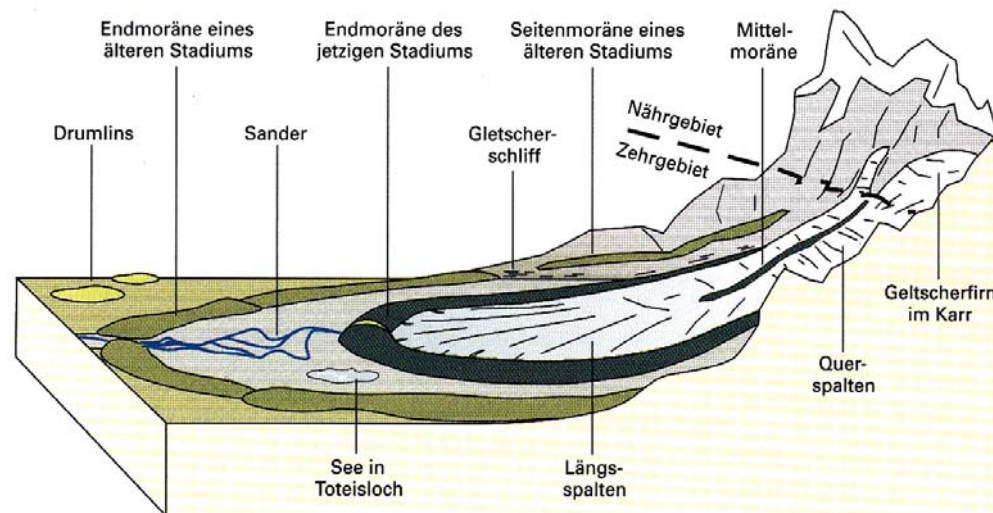
## Gletscher

In Glazialgebieten reissen Gletscher durch ihr langsames Fliessen aus dem darunter liegenden Gestein Geschiebe los und scheuern und hobeln auf diese Weise grosse U-förmige Täler aus, die tiefe Einschürfungen (Gletscherschliffe) am Talboden und entlang ihrer Flanken aufweisen. Vom kleinen Sandkorn bis zum riesigen Block werden durch Gletscher transportiert. Das aus dem Gletscher austretende Wasser sorgt dann für den Weitertransport, wobei grössere Blöcke meistens nicht mehr bewegt werden. Auf diese Weise bilden sich von der Gletscherzunge talabwärts ausgedehnte Schotterebenen (Sander).



Durch einen Gletscher verursachte Schrammen

**GLETSCHERSCHLIFF**  
Die tiefen, eingeritzten Schrammen auf diesem Kalkstein aus Grindelwald (Schweiz) stammen von abrasiv wirkenden Gesteinsbrocken in einem Gletscher.



## Gletscher

Der Gletscherschutt wird beim Zurückschmelzen des Eises in Form von Moränen abgelagert, unter dem Gletscher als Grundmoräne oder randlich als Seiten- und Endmoränen. Moränenmaterial ist im allgemeinen schlecht sortiert und enthält Blöcke, Steine, Kies, Sand, Silt und feines Tonmaterial.



Schotterebene Morteratschgletscher



Morteratschgletscher

# Findlinge



## Wasser

Das wichtigste Transportmittel ist das fließende Wasser. Die Verwitterungsprodukte können entweder gelöst oder als Feststoff befördert werden. Je nach Wassergeschwindigkeit und Korngrösse schwebt das Material entweder als Suspension im Wasser oder wird geschoben und gerollt (Geschiebefracht). Geschiebe wird nur bei Hochwasser verfrachtet und entfaltet dabei eine ungeheure Erosionswirkung. Flüsse verursachen Erosion durch Abrasion (abscheuern) der Gesteine, über die sie hinwegfließen, in dem die im Wasser mitgeführten Sand- und Gesteinspartikel als Werkzeuge dienen. Auf diese Weise können Flüsse tiefe Täler und Schluchten graben.



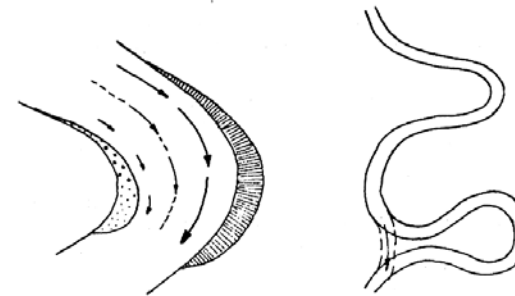
Linth



Linthschlucht

## Wasser - Mäander

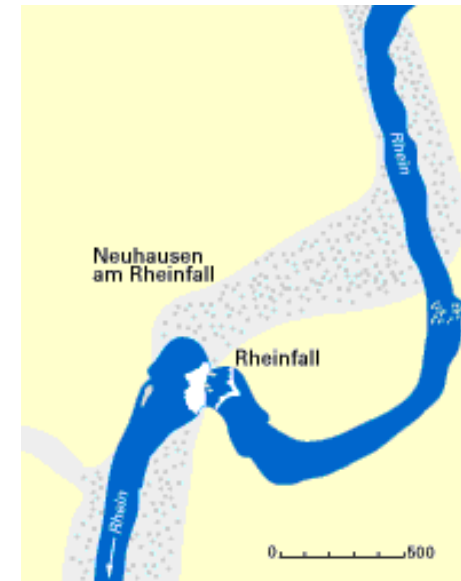
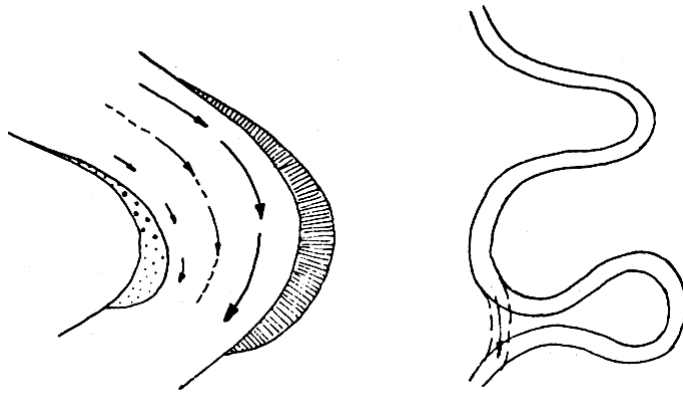
Wenn ein Fluss eine Biegung beschreibt, ist die Strömung an der Aussenseite schneller als an der Innenseite. Daher neigt das äussere Ufer dazu, durch Erosion versteilt und immer nach aussen verlagert zu werden, während auf der Innenseite Geschiebe in Form einer Sand- oder Kiesbank liegen bleibt. Auf diese Weise verstärken sich anfängliche Unregelmässigkeiten im Flusslauf immer mehr zu einer Reihe von Mäandern (Flussschlingen), die fast immer dort auftreten, wo Flüsse mit geringem Gefälle ihre Schwemmebenen durchqueren.



Mäander, Canada



## Wasser – Mäander - Die Entstehung des Rheinfalls



# Geschiebefrachten



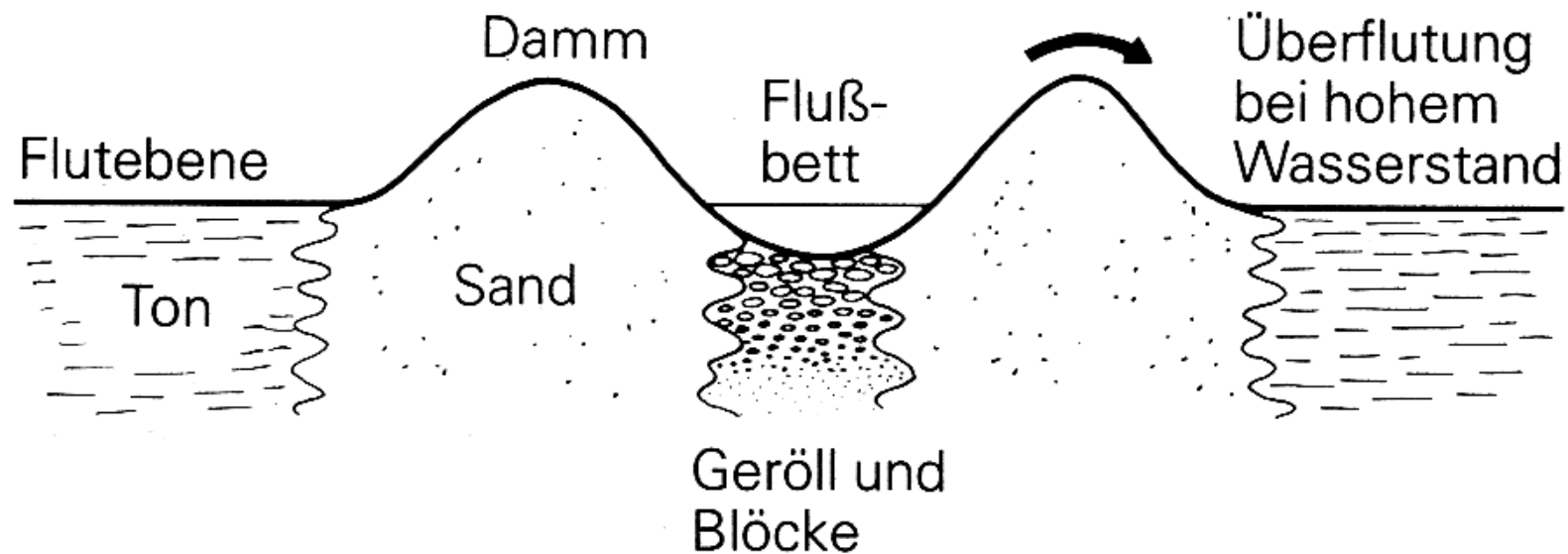
Suspension



Geschiebe

## Wasser - Sortierung

Bei Hochwasser werden gröbere Partikel unmittelbar neben dem Fluss abgelagert und bilden erhöhte Bänke (Dämme). Das feinere Material wird übers Land weiter getragen, sinkt bei nachlassender Strömung auf den Boden und bildet so eine Schwemmebene (Alluvium).

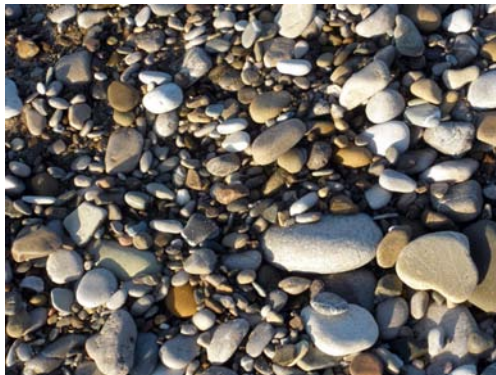


## Wasser - Sortierung

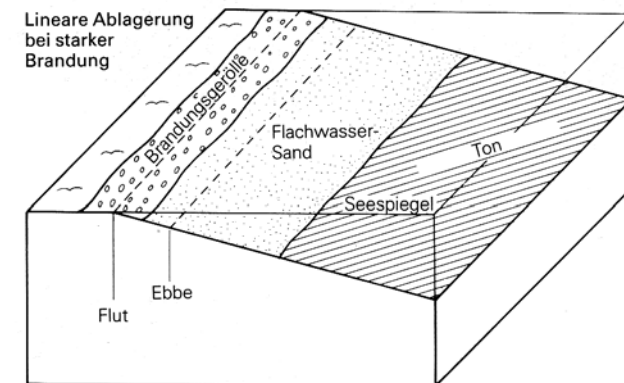
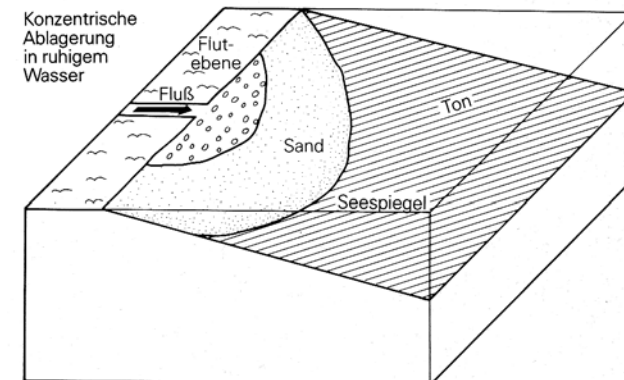
An der Küste findet im Bereich von Flussmündungen die Ablagerung der transportierten Fracht gewöhnlich in Form von Deltas statt, wobei zuerst die gröberen Materialien wie Kies und Schotter, dann der Sand und zuletzt der Schlamm abgelagert wird. Strömungen und starke Gezeitenunterschiede können das Material auch umarbeiten und weiter der Küste entlang ins Meer hinaus transportieren.



Lineare Sortierung  
am Strand

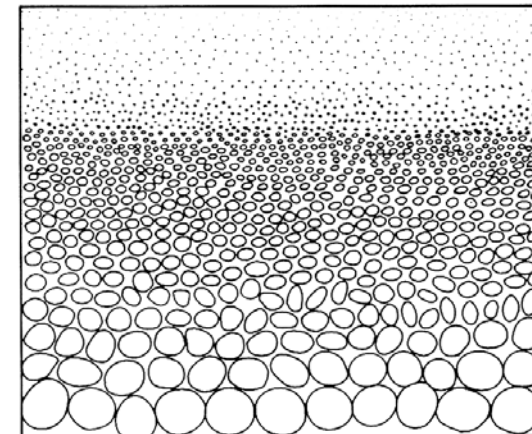
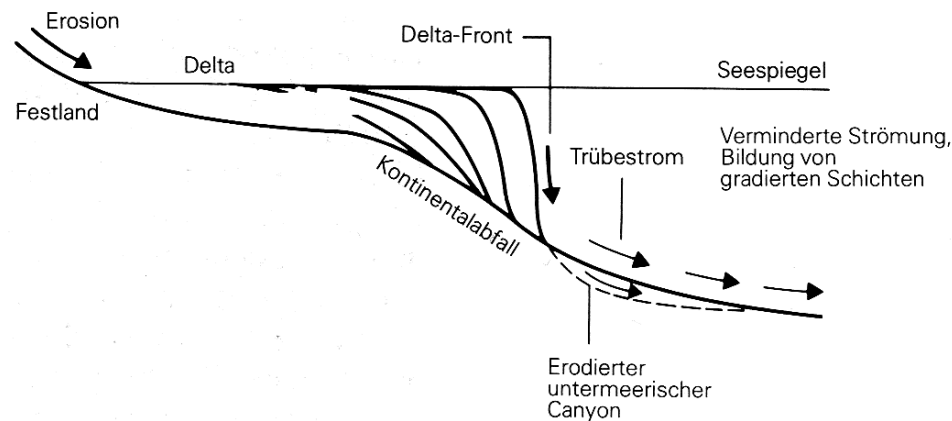


Unsortiertes  
Strandgeröll



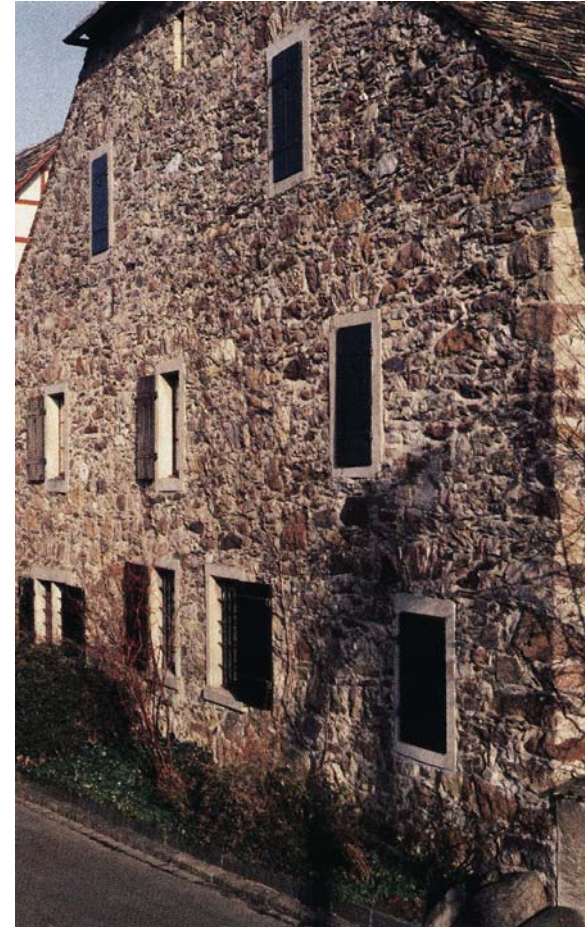
## Wasser - Sortierung

Wenn ein Fluss Geschiebe ins Meer bringt, lagert er dieses an seiner Mündung als Delta ab. An der Deltastirn werden die Sedimente als Vorschüttung in steilem Winkel abgelagert. Wird der Winkel zu steil, werden die Schichten instabil und die noch nicht verfestigten Sedimente sausen infolge der Schwerkraft als mächtiger Turbidit (Trübestrom) den Abhang hinunter. Am Fusse des Abhangs kommt die „unterseeische“ Lawine zum Stillstand und das Material wird wieder abgelagert, wobei das Größte zuunterst liegt und das Feine zuletzt und somit zuoberst sedimentiert wird (gradierte Schichtung).



## Klastische Sedimente

Sedimente, die aus andern Gesteinen durch Verwitterung, Erosion und Transport hervorgehen, nennt man klastische Sedimente. Durch die Ablagerung unter unterschiedlichen Bedingungen findet eine Trennung in verschiedene Korngrößen statt. Deshalb wird die Korngrösse benutzt, um die Art und Bildung dieser Sedimente zu verstehen.



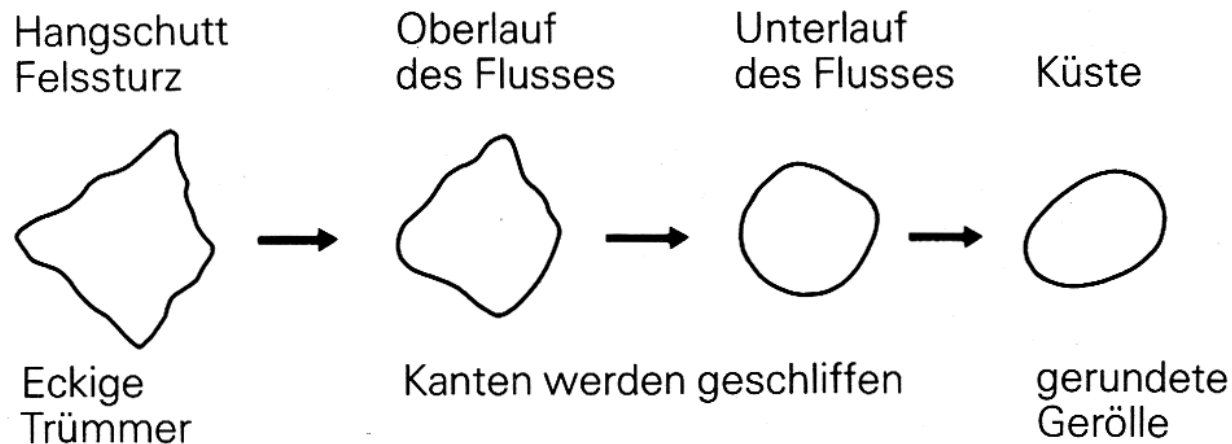
„Stammerheiri-Haus“, Witikon

## Klassifikation der klastischen Sedimente

Korn- durchmesser	Kornklasse	Lockergestein	Festgestein
> 2 mm	Psephite	Schutt (eckig) Schotter (rund)	Breccie (eckig) Konglomerat (rund)
0,06 – 2 mm	Psammite	Sand	Sandstein 1)
0,002 – 0,06 mm	Pelite	Silt	Siltstein
< 0,002 mm		Ton	Tonstein 2)

## Psephite

Gesteinsbrocken mit einem Durchmesser von etwa einem Zentimeter oder grösser werden als Kies oder Schotter bezeichnet. Sie können verschiedene Mineralien beinhalten und jedem beliebigen Gesteinstyp angehören. Wird Kies transportiert, so prallen die einzelnen Steinchen aufeinander oder auf den Untergrund und allfällige scharfe Kanten werden abgeschliffen. Dadurch werden die Steine mehr und mehr gerundet.





## Psephite

Wird ein Kiesbett unter neuen Sedimentschichten begraben, so werden die Räume zwischen den Trümmern durch feines Material ausgefüllt, das nun als Zement wirkt.

Sind die Trümmer gerundet, spricht man von einem Konglomerat (z.B. Nagelfluh), sind die Trümmer eckig und kantig, spricht man von einer Brekzie.



Konglomerat

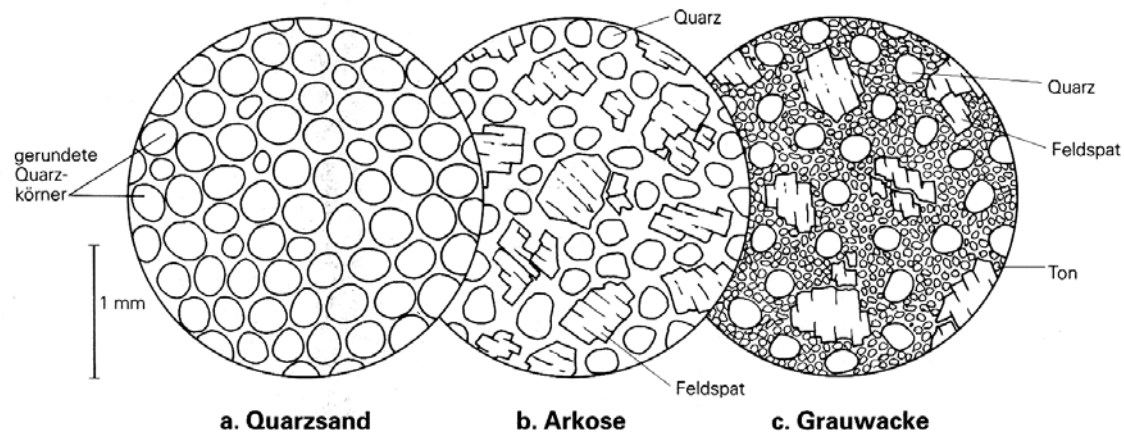


Brekzie

## Psammite

Bruchstücke, die kleiner als 2 mm und von bloßem Auge noch erkennbar sind, gelten als Sandkörner.

Falls die Sandzusammensetzung eines Gesteins fast ausschliesslich aus Quarzkörnern besteht, nennt man es Quarzsandstein oder Quarzit. Falls noch Feldspatkristalle im Sand zu finden sind, ein Hinweis, dass die Distanz zum Liefergebirge nicht allzu gross ist, spricht man von einer Arkose. Eine weitere Art von Sandstein, die Grauwacke, besteht aus einem Durcheinander von Quarz, Feldspat und Glimmer. Das Liefergebiet ist in diesem Fall nahe.



## Anwendungen von Sandsteinen



Baslermünster - aus roten Sandsteinen des Buntsandsteins errichtet.



Rathaus Glarus – die Basis besteht aus hellem granitischem Sandstein (USM), der Oberbau aus grünlichem Berner Sandstein (OMM).



Pflasterung aus Matter Sandstein - Flyschsandstein.

## Pelite

Die allerfeinsten Sedimente (Lehm) bestehen hauptsächlich aus Mineralien, die erst im Verlauf der Verwitterung gebildet wurden. Diese Tonminerale sind chemisch den Glimmern ähnlich (Schichtsilikate), doch ihre Kristalle sind mikroskopisch klein, mit einem Durchmesser von wenigen tausendstel Millimeter. Sedimente, die aus solchen Mineralen aufgebaut sind, nennt man Tone.



Tonmineral

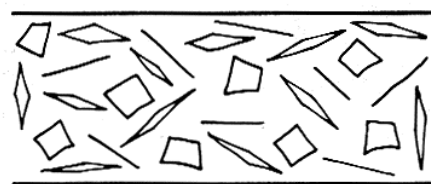


Flysch-Schiefer, Engi

## Pelite

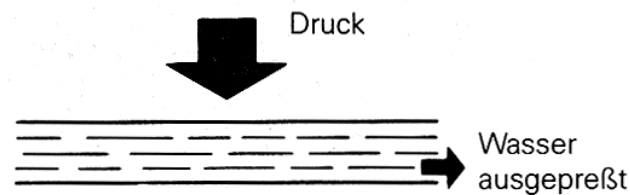
Wenn Lehm schnell abgelagert wird, lagern sich die blättrigen Kristalle in allen möglichen Richtungen ab und vermischen sich mit Wasser. Falls sich diese Mischung verhärtet bevor sie gepresst wird, entsteht ein Tongestein ohne ersichtliche Struktur. Schlägt man mit einem Hammer drauf, bricht es in alle Richtungen und weist oft gebogene (muschelige) Bruchflächen auf.

Wenn das Lehmbed von weiteren Sedimenten überdeckt wird, drückt das Gewicht dieser Last das Wasser hinaus, presst den Ton und regelt alle Kristalle in eine horizontale Lage ein. Aufgrund dieser inneren Struktur bricht das Gestein leicht in dünne Plättchen und wird „Schiefer“ genannt.



Mineralien ungeordnet

### a. Ton



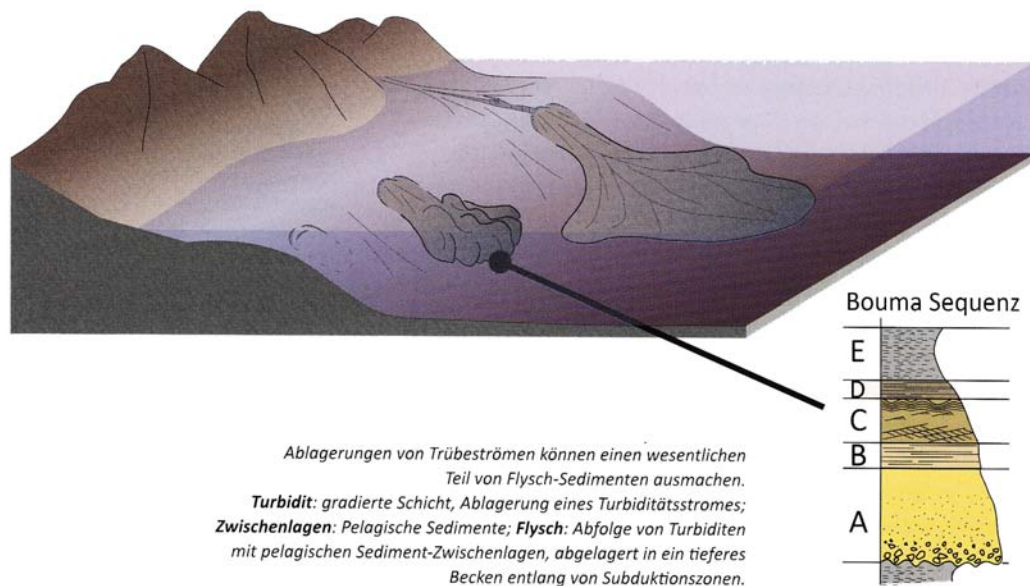
Mineralien parallel

### b. Schieferton



Schiefertafelfabrik, Elm

Der Name „Flysch“ stammt aus dem Simmental und bedeutet „schiefrige Gesteine“. Flysch beschreibt im Wesentlichen eine Wechsellagerung von Tonschiefern und Sandsteinen mit Turbiditmerkmalen, welche unterhalb des Wellenbereiches und in vielen Fällen auch unterhalb der Kalkproduktionsgrenze abgelagert wurden.



Flysch ist ein marines klastisches Sediment, das überwiegend durch das Abgleiten von Sedimenten über den Kontinentalhang in die Tiefsee entsteht. Dort lagert sich eine vielfach wiederholte Abfolge von dünnen Tonschichten und bis über einen Meter mächtigen Bänken aus Sandstein ab.



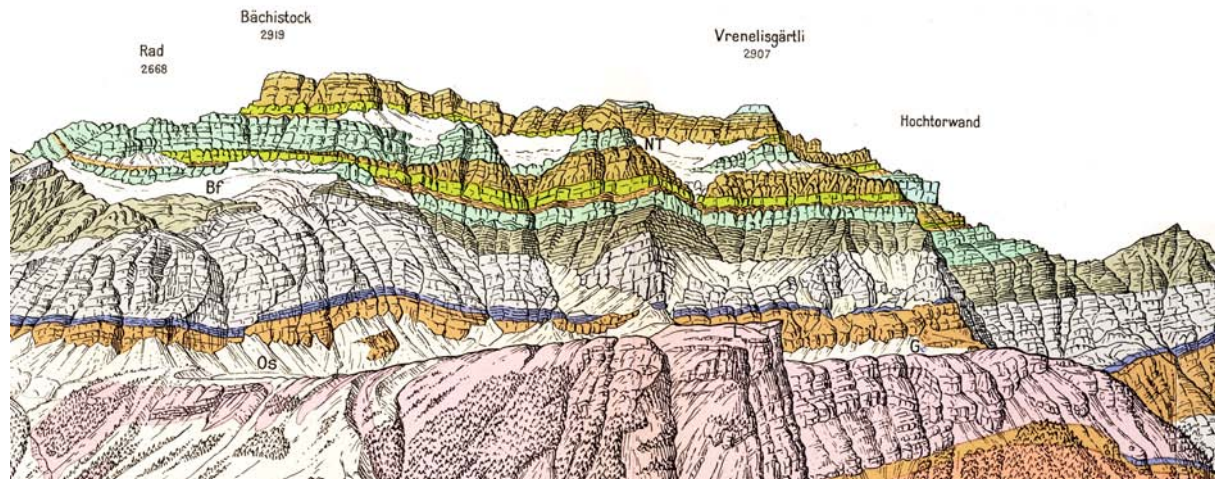
# Sedimentstrukturen



Die meisten Sedimente wurden ursprünglich horizontal abgelagert. So markieren Schichtflächen zwischen zwei Lagen in einem Sediment entweder einen Materialwechsel oder einen Sedimentationsunterbruch.



Die Glärnischkette aus SE



Gebänderte Kreideformationen in den Gipfelpartien des Glärnisch (GL) (aus Oberholzer, 1933)

## Sedimentstrukturen

In gebirgigen Gegenden zeigt sich oft, dass die Schichten aufgerichtet sind oder sogar überkippt wurden. In solchen Fällen ist es oft schwierig, das Alter verschiedener Schichten zu bestimmen, ohne die Sedimentstrukturen sehr genau zu untersuchen.

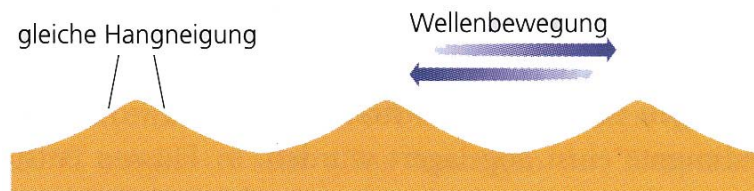


Steilgestellte Sedimentschichten  
am Schesaplana (CH, A)

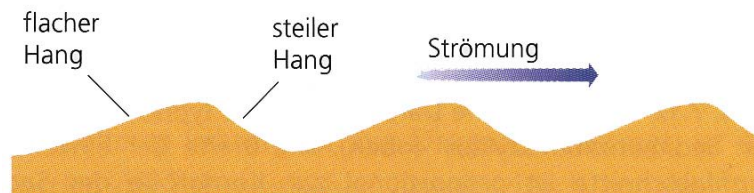


## Kreuzschichtung

Als Kreuzschichtung (Cross Bedding) bezeichnet man Strukturen, die ein Schneiden und Kreuzen von Schichtflächen unter schiefem Winkel zeigen. Solche Strukturen entstehen, wenn Sand bei starker Strömung (Wind oder Wasser) verfrachtet wird, wobei die Körner auf der Luvseite aufgetragen werden und auf der Leeseite hinunterrollen. Die Wellenbewegungen des Windes und die Brandung an einer Küste bewirken meistens, dass der Sand kreuzgeschichtete Lagen von wenigen Zentimetern Mächtigkeit bildet. Die grössten dieser Strukturen sind Dünen, die dutzende von Metern hoch sein können und aus windverfrachtetem Wüstensand entstehen.

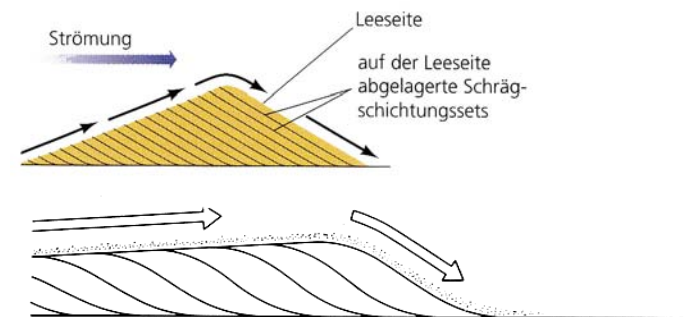


symmetrische Rippeln (Strand)

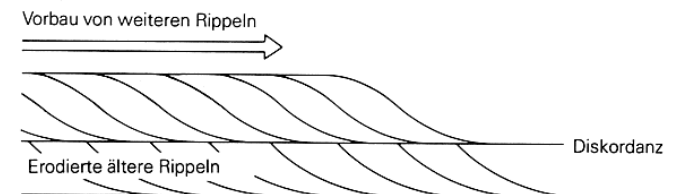


asymmetrische Rippeln (Dünen)

Die Formen der Rippelmarken, die durch wellenbedingtes Hin- und Herbewegen des Sedimentmaterials entstehen, sind symmetrisch. Solche, die durch eine gerichtete Strömung erzeugt werden, asymmetrisch.



### a. Bildung von Rippeln



### b. Bildung der Kreuzschichtung

## Kreuzschichtung



Dünenlandschaft, Sahara



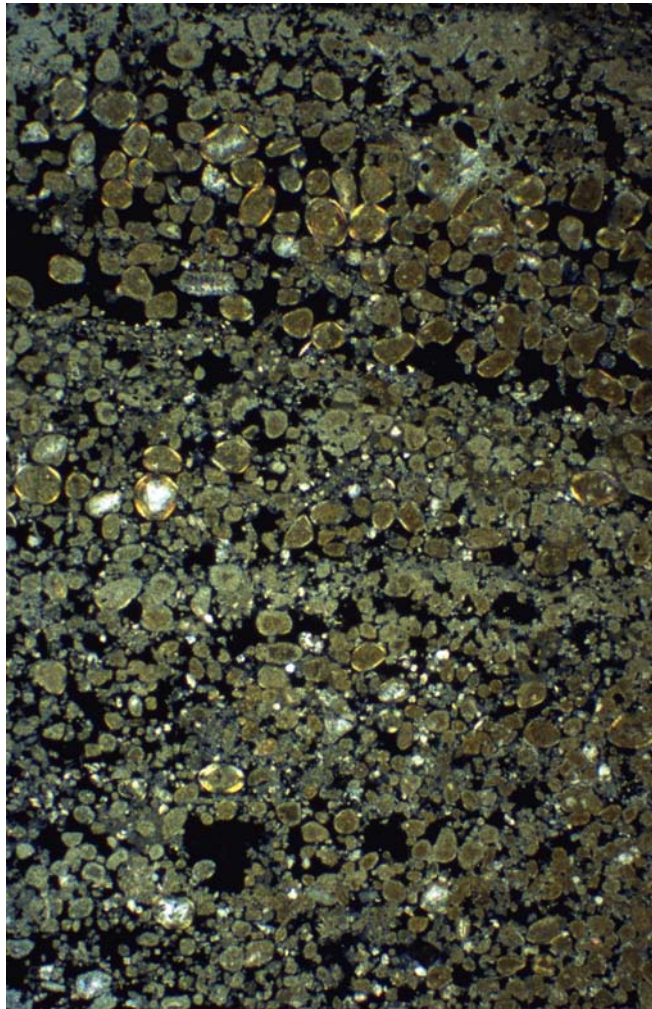
Rippelmarken, Südafrika



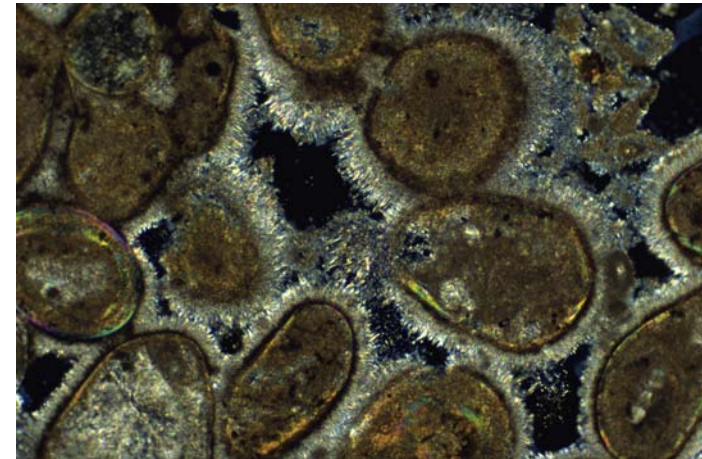
Kreuzschichtung, Bahamas

## Diagenese – Vom Sand zum Sandstein

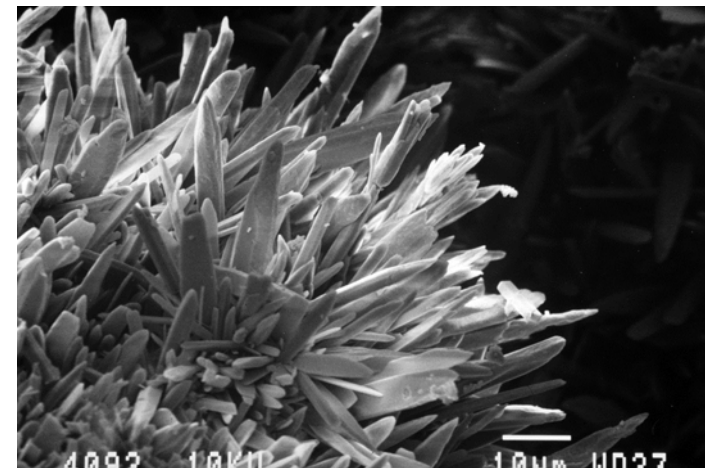
Kalkzement (Aragonit) kristallisiert auf Kornoberflächen, füllt die Porenräume und führt damit zur Verzementierung der einzelnen Sandkörner. Aus Sand wird Sandstein.



Looser Kalksand, Bahamas

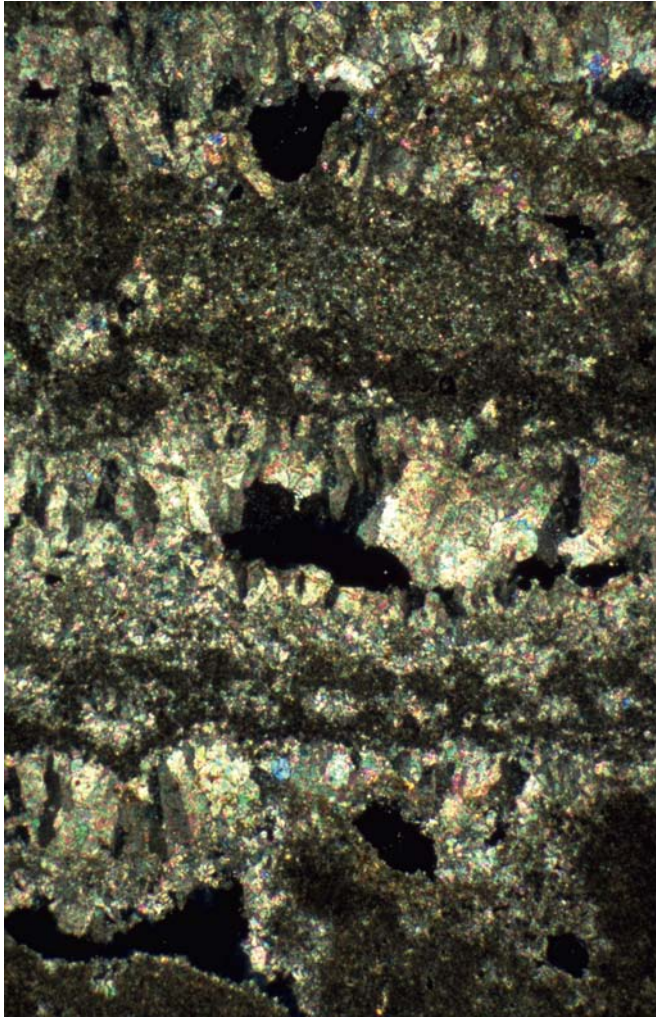


Kalkkristalle (Aragonit) auf Sandkörnern, Bahamas

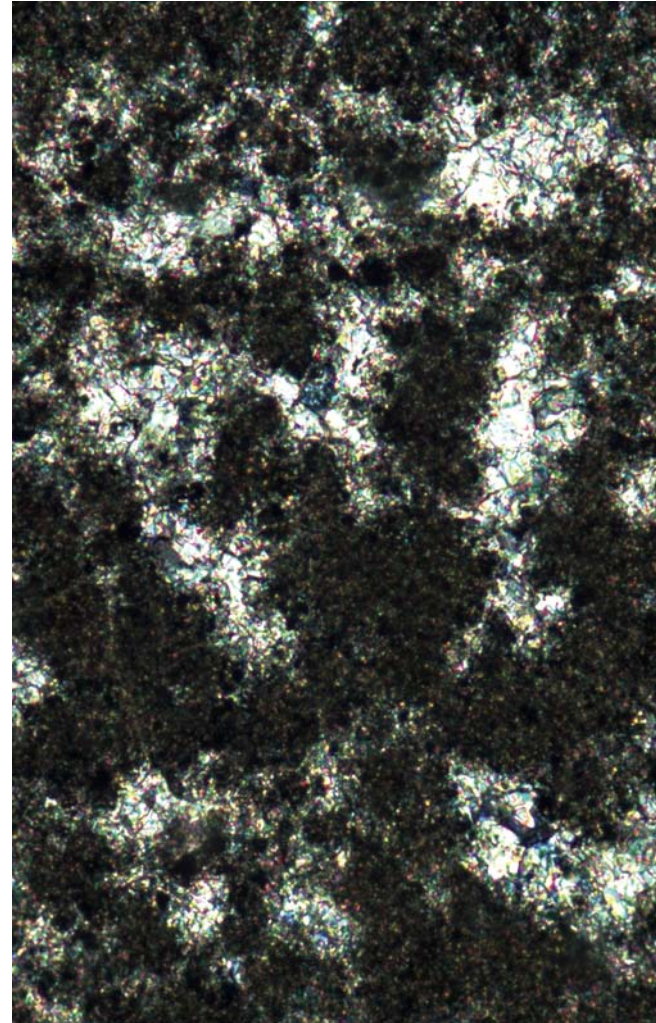


Aragonitnadeln, Bahamas

## Diagenese - Verfestigung und Auffüllung der Porenräume



Zementwachstum in Hohlräumen, SE—Spanien  
Bildbreite etwa 3 mm.



Fest „verwachsene“ Porenräume.  
Der Stein ist „fertig“, SE-Spanien

## Bildungsräume klastischer Sedimente

Bildungsraum	Transport- und Ablagerungsmedium	Sedimente
<b>Terrestrisch</b>		
Schwemmland	Flüsse	Kies, Sand, Silt, Ton
Wüste	Wind	Sand, Staub
Binnensee	Strömungen, Wellen	Sand, Silt, Ton
Gletscher	Eis	Kies, Sand, Silt, Ton
<b>Litoral</b>		
Delta	Fluss und Wellen, Gezeiten	Sand, Staub
Strand	Wellen, Gezeiten	Kies, Sand
Wattgebiete	Strömungen	Sand, Silt, Ton
<b>Offen Marin</b>		
Kontinentalschelf	Wellen, Gezeiten	Sand, Silt, Ton
Kontinentalhang	Meereströmungen	Sand, Silt, Ton
Tiefsee	Meereströmungen, Absinken	Silt, Ton