

Posten 3: Hofkirche St. Leodegar und Mauritius

Sandstein - von Sandstränden und einem Meer

Während die Mauern der meisten Häuser der mittelalterlichen Luzerner Altstadt mit Mörtel verputzt sind und sich deren Baumaterialien nur erahnen lassen – meist ein wildes Durcheinander aus Steinen –, besitzen etliche Sakralbauten, die Stadtmauer mit ihren Türmen und auch etliche Profanbauten Fassaden oder zumindest Mauersockel aus feinkörnigem, sandigem Gestein: Sandstein. Dieser wurde zunächst in Steinbrüchen auf dem Stadtgebiet und später in dessen näherer Umgebung beschafft. Ein Beispiel dafür ist die Hofkirche mit ihren zwei 69 m hohen Türmen, die 1633 bis 1639 teilweise auf den Fundamenten einer zuvor abgebrannten, romanischen Basilika gebaut wurde.

Wir werden uns mit folgenden Fragen beschäftigen:

- Wie und wann ist der Sandstein entstanden?
- Wie könnte das Gebiet der Schweiz damals ausgesehen haben?
- Weshalb hat Sandstein unterschiedliche Farben?

Sandsteine bestehen, wie ihr Name sagt, aus Sand. Es gibt grobe Sandsteine und sehr feine. Jener Sandstein, der in Luzern verwendet wurde, ist eher feinkörnig (Abb. 2). Wo man die Sandkörner gerade noch zu sehen vermag, sind sie etwa einen halben Millimeter bis einen Millimeter gross, oft sind sie jedoch auch nur 1/10 mm gross, sodass man von Auge kaum einzelne Körner erkennen kann. Doch auch sehr feiner Sandstein verrät sich durch eine Oberfläche, die sich sandig anfühlt und von der sich beim Berühren Sandkörner lösen können. An der Hofkirche können deutlich zwei Sorten von Sandstein unterschieden werden: ein Rötlichgrauer und ein Grünlichgrauer (Abb. 4).

Auf dem Gebiet der Stadt Luzern und in deren Umfeld existierten früher unzählige Steinbrüche, Luzern ist damit eine der seltenen Städte, die sich mit Bruchsteinen aus dem Stadtgebiet versorgen konnten. Der weichere, witterungsanfällige, grünlichgraue sog. «Luzerner» Sandstein stammt vermutlich aus jenem Steinbruch ganz in der Nähe der Kirche, aus dessen Rückwand später das Löwendenkmal herausgehauen wurde. Der etwas härtere, witterungsresistentere, rötlichgraue Sandstein, der auch als «granitischer» Sandstein bezeichnet wird, könnte aus der Bruchmatt stammen, wo sich früher ebenfalls ein Steinbruch befand, überliefert im Wort «Bruch». Auch Hertenstein bei Weggis kommt als Herkunftsort in Frage, zumal der Flurname auf «harten» Stein hinweist.

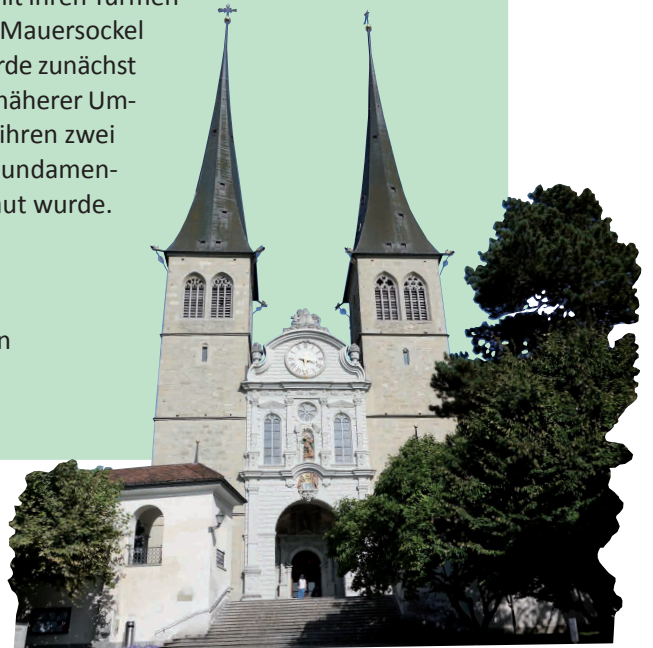


Abb. 1: Hofkirche St. Leodegar und Mauritius

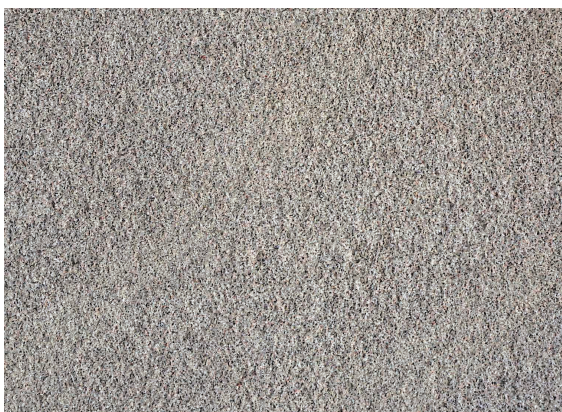


Abb. 2: Feiner Sandstein, ca. Originalgrösse, Hofkirche

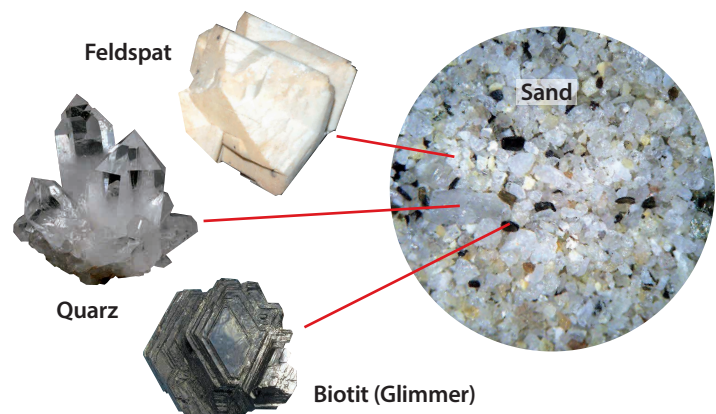


Abb. 3: Feldspat, Quarz und Biotit (ein Glimmer), die drei Hauptkomponenten des Sandsteins in Luzern

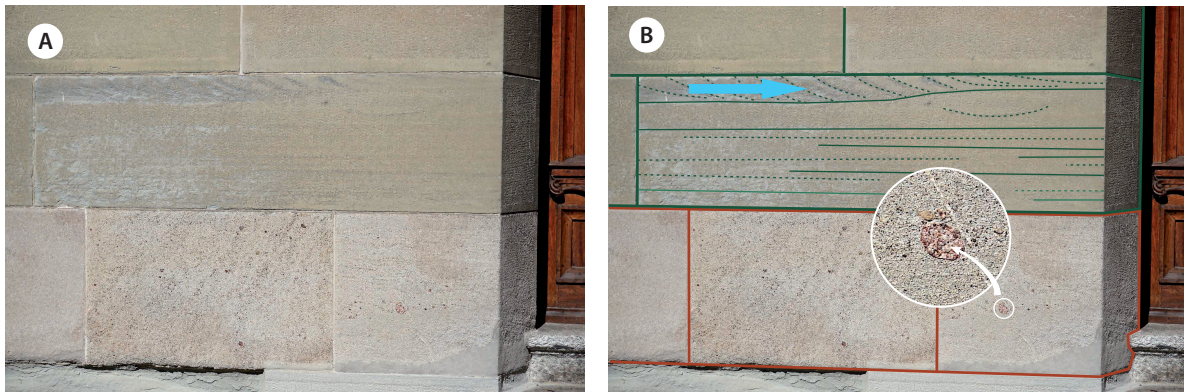


Abb. 4: Zwei Sorten Sandstein an der Südseite der Kirche: ein grünlichgrauer Sandstein («Luzerner» Sandstein) mit gut sichtbarer Schrägschichtung (bei B ist die Schichtung grün hervorgehoben) und ein rötlichgrauer Sandstein («Granitischer» Sandstein) mit gut sichtbaren Geröllen aus rötlichem Granit (Kreis). Der blaue Pfeil markiert die Fliessrichtung des Wassers.



Welche Geschichten erzählt uns der Sandstein?

Mittlerweile haben Sie sicher bemerkt, welche Geschichten die Gesteine am besten erzählen können: jene ihrer eigenen Entstehung. Das ist auch beim Sandstein nicht anders. Der Sandstein erzählt seine Geschichte einerseits durch die Art seiner Bestandteile, andererseits durch die Art seiner Schichtung. Sand ist immer das Resultat der Zerkleinerung von Gesteinen durch die Einflüsse zerstörerischer Kräfte, der sogenannten **Verwitterung**, wie auch des **Transportes** durch Wasser oder Wind. Gefriert z. B. im Gebirge Wasser in Felsspalten (Spaltenfrost), wird das Gestein auseinander gesprengt, stürzt zu Tal und zerbricht in kleine Stücke. Diese werden von Bächen und Flüssen mitgerissen, schlagen im Wasser gegeneinander (Abraision) und werden so zu Kies und Sand zermahlen (Sandkörner sind kleiner als 2 mm, Kies ist zwischen 2 mm und 6 cm im Durchmesser). Jene Minerale, die am widerstandsfähigsten sind, haben die grössten Chancen, diese zerstörerische Reise zu überstehen. Es wundert deshalb nicht, dass Quarzkörner die häufigsten Bestandteile des Sandsteins sind (Abb. 3). Wir haben schon an Posten 1 gesehen, dass Quarz besonders widerstandsfähig ist gegen Verwitterung. Auch Sandkörner aus Feldspat kommen im Sandstein häufig vor. Dieser ist zwar etwas weicher als Quarz, er ist aber in vielen Gesteinen – wie z. B. im Granit – in derart grossen Mengen vorhanden, dass auch nach Verwitterung und Transport noch immer ein Teil davon übrig bleibt. Vom weichen, blättrigen Glimmer hingegen, der in vielen Gesteinen ebenfalls in grossen Mengen vorkommt, ist im Sandstein viel weniger zu finden, dieser wird beim Transport fast vollständig zerrieben.

Der Sandstein besteht also aus Mineralkörnern, die irgendwo schon einmal Teil eines Gesteins bzw. Gebirges gewesen waren, die zerkleinert, von Flüssen transportiert und danach zu einem Sediment abgelagert worden waren. Doch unter welchen Bedingungen geschah das? Hier kann die Art der Schichtung im Sandstein eine Antwort geben. Horizontale Schichtungen, wie wir sie in vielen grünlichgrauen Sandstei-

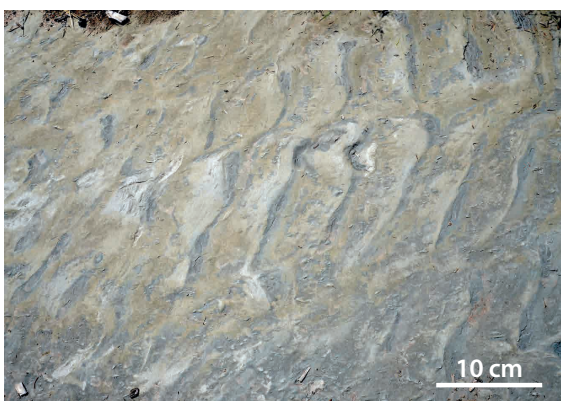


Abb. 5: Wellenrippeln auf einer Schichtoberfläche im Steinbruch Rooterberg



Abb. 6: Wellenrippeln im Sand an einem Strand

nen der Hofkirche beobachten können, entstehen in stehendem Wasser. Das kann ein See oder ein Meer sein. Wurden die Schichten hingegen schräg abgelagert, spricht man von **Schrägschichtung** (Abb. 4). Schrägschichtungen entstehen, wenn Sandkörner in fließendem Wasser entweder in einem träge dahin fließenden Fluss, in einem Flussdelta oder am flachen Strand eines stehenden Gewässers abgelagert werden. Flussdeltas entstehen, wenn Flüsse in einen See oder in ein Meer münden, die Fließgeschwindigkeit abnimmt und alles abgelagert wird, was sie mittransportieren.

In vielen Sandsteinen können auch gewellte Schichten beobachtet werden, besonders schöne Exemplare wurden im Gletschergarten und im Steinbruch Rooterberg gefunden (Abb. 5). Dies sind **Wellenrippeln**, wie sie auch heute auf weiten, flachen Sandstränden durch Wellenschlag entstehen (Abb. 6). Die Geologie geht davon aus, dass die Gesteine früher auf dieselbe Weise entstanden sind wie heute, dies nennt man **Aktualitätsprinzip**. Der Sandstein ist demnach in einem Gebiet mit einem Meer oder See, Flussdeltas und flachen Stränden entstanden. Die Flüsse müssen den Sand aus einem Gebirge mit sehr starker Verwitterung herangetragen haben. Das könnte etwa so ausgesehen haben (Abb. 7):

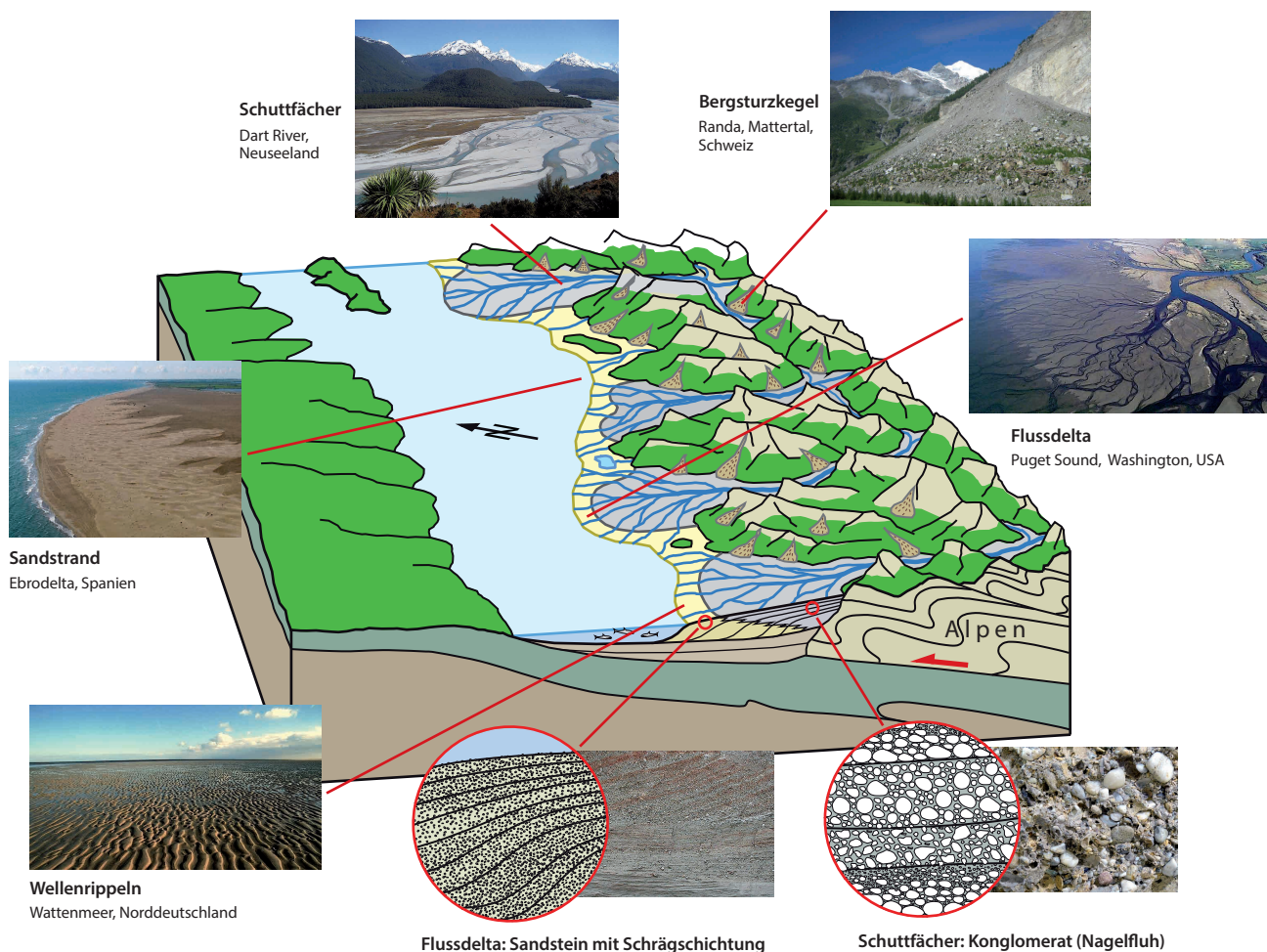


Abb. 7: So könnte der Ablagerungsraum des Sandsteins im Schweizer Mittelland ausgesehen haben.

Das Gebirge rechts in Abb. 7 sind die noch jungen Alpen vor ca. 20 bis 18 Millionen Jahren, die von Süden her sehr schnell (mit ca. 2 cm pro Jahr) nordwärts überschoben werden (roter Pfeil). Das Gebirge ist deshalb sehr instabil und anfällig für Verwitterung. Dadurch wird es gleichzeitig auch wieder um mehrere Millimeter pro Jahr abgetragen. Es gibt viele Bergstürze, die grosse Bergsturzkegel bilden. Bäche und Flüsse tragen die Steine mit, runden sie ab und zerkleinern sie zu Kies und Sand. Geröll und Kies werden auf Schuttfächern riesigen Ausmasses abgelagert. Die leichteren Sandpartikel hingegen werden im fließenden Wasser bis an den Strand eines untiefen Gewässers transportiert und erst dort abgelagert, wo das fließende Wasser auf das Stehende trifft und dadurch gestoppt wird (Flussdelta). Aus Geröll und Kies entsteht ein sogenanntes **Konglomerat**. Dieses findet man heute z. B. im Gebiet des Napfs östlich von Bern, im Gebiet Hörnli / Schneebehorn im Tösstal, am Speer nördlich von Weesen oder auch an der Rigi. In der Deutschschweiz, aber auch bis nach Bayern, heisst dieses Gestein auch «Nagelfluh». Der Sand bildet **Sandstein** mit

Mio. Jahre

5			
10	Obere Süsswassermolasse	OSM	Vorwiegend Sandsteine, Konglomerate, Mergel, dünne Kohleschichten
15			
20	Obere Meeresmolasse	OMM	Vorwiegend Sandsteine, Konglomerate, Mergel, Muschelkalksandsteine
25	Untere Süsswassermolasse	USM	Vorwiegend Sandsteine, Konglomerate, Mergel
30	Untere Meeresmolasse	UMM	Vorwiegend Sandsteine, Konglomerate, Mergel
35			

Abb. 8: Unterteilung der Molasseablagerungen in zwei Meeres- und zwei Süsswasserperioden

Schrägschichtungen, wie sie für Flussdeltas und Strände typisch sind. Alle diese Ablagerungen werden unter dem Begriff **Molasse**¹ zusammengefasst, die Sandsteine werden deshalb gelegentlich auch als **Molasse-sandsteine** bezeichnet. Am Fuss der Alpen sind die Molassegesteine bis zu 5 km mächtig, gegen Norden werden sie zunehmend dünner und erreichen nur noch wenige 100 m.

See oder Meer - oder beides?

Bleibt noch die Frage, ob das Gewässer nördlich der Alpen, an dessen Rand die Molasseablagerungen sedimentiert wurden, ein Meer oder ein grosser See war. Auf diese Frage könnten Fossilien eine Antwort geben, die sich Lebensräumen zuordnen lassen, die entweder typisch waren für Salz- oder für Süsswasser. Leider findet man in Sandsteinen und in Konglomeraten nur sehr selten Fossilien, da Schalen von Muscheln oder Schnecken in bewegtem Wasser zwischen Sand- und Kiespartikeln zerrieben werden. Pflanzenüberreste werden noch seltener gefunden. Trotzdem ist es der Geologie gelungen, herauszufinden, dass das Gewässer zeitweise ein seichter Meeresarm und zeitweise ein vom Ozean abgetrennter, verlandender Süsswassersee war. Dies führte zur heute gängigen Aufteilung in zwei Meeres- und zwei Süsswasserperioden (Abb. 8).

In einigen wenigen Schichten, den sogenannten Rotseeschichten, die etwas später abgelagert wurden als der grünlichgraue «Luzerner» Sandstein, können Platten mit Muschelschalen und Schneckenhäusern gefunden werden, die auch heute noch in ähnlicher Form im Meer vorkommen (Abb. 9). Ebenso kommen in diesen Schichten manchmal Zähne von Haien vor, die ausschliesslich im Salzwasser leben (Abb. 10). Dies zeigt, dass der «Luzerner» Sandstein am Strand eines Meeres entstand, das jedoch kaum tiefer als 50 m gewesen sein dürfte (Abb. 11). Der «Luzerner» Sandstein gehört deshalb zur Oberen Meeresmolasse (Abb. 8). Eingeschwemmte Holzstücke (in schwarze Kohle umgewandelt) zeugen von der Nähe des Landes (Abb. 9). Einige wenige Überreste von Palmbältern (Abb. 12), die im Sandstein gefunden wurden, weisen zusätzlich darauf hin, dass das Klima damals subtropisch war, also etwa wie im heutigen Mittelmeergebiet oder in Florida.



Abb. 9: Grosse Sandsteinplatte im Gletschergarten mit Schalen von Muscheln und Schnecken sowie in Kohle umgewandelten Schwemmholzstücken.



Abb. 10: Haizähne aus Ursendorf (Süd-deutschland)

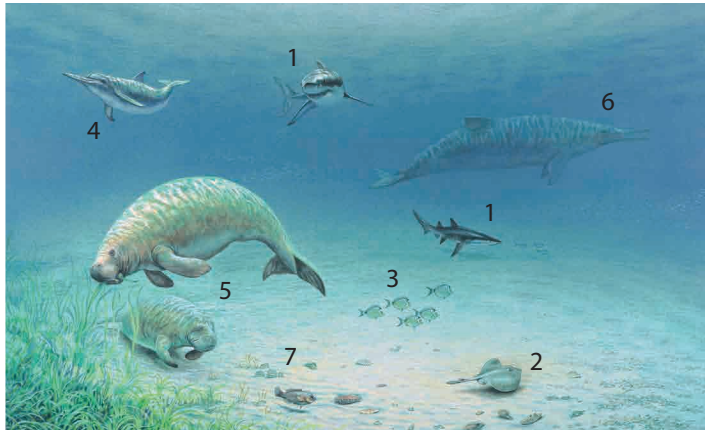


Abb. 11: Rekonstruktion des Lebens im Molassemeer anhand von Funden fossiler Knochen und Schalen (von Beat Scheffold): Im Wasser lebten Haie (1), Rochen (2), Fische (3), Delphine (4), Seekühe (5) und Wale (6), am Boden lebten Muscheln, Seeigel und Schnecken (7).



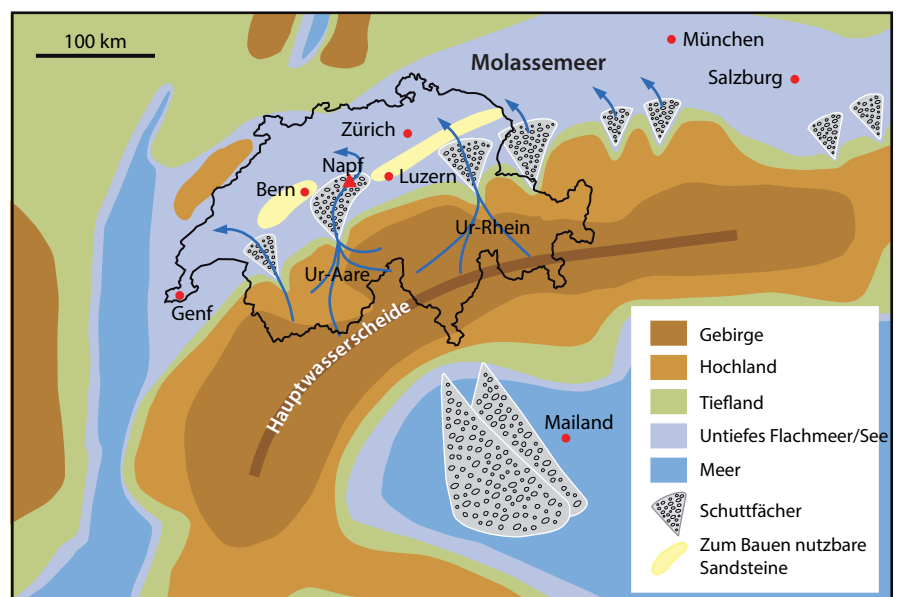
Abb. 12: Fossiles Palmblatt, Gletschergarten

Im rötlichgrauen «granitischen» Sandstein hingegen werden keine Meeresfossilien gefunden, sodass dieser der Unteren Süsswassermolasse (Abb. 8) zugeteilt wird, da er in der zeitlichen Ablagerungs-Abfolge der Schichten unterhalb des «Luzerner» Sandsteins liegt.

Wie kam dieses Gewässer dahin, wo heute das Schweizer Mittelland und der Jura liegen? Wir wissen noch vom Solothurner Kalkstein an Posten 2, dass Europa in früheren Zeiten anders aussah. Vor 155 Millionen Jahren beispielsweise, als der Solothurner Kalkstein entstand, war Europa fast ganz von einem Meer bedeckt, aus dem nur einzelne Inseln herausragten. Seither hat der Kontinent sein Gesicht mehrmals verändert.

In der Zeit vor 35 bis 5 Millionen Jahren, als die Molassegesteine abgelagert wurden, waren die Alpen am Entstehen und ragten wohl schon 3'000 m über den Meeresspiegel hinaus. Im Süden der Alpen lag ein Meer, das später einmal Teil des Mittelmeeres werden würde, im Norden hingegen existierte nur ein schmaler, untiefer Meeresarm von Genf über Zürich und München bis nach Wien, der zwischendurch mehrmals verlandete und zeitweise auch ein Süsswassersee war. Dieser Meeresarm wird in der Geologie **Molassemeer** genannt. Vermutlich entstand er, weil das Gewicht der Alpen die nördlich darunter liegende europäische Erdkruste in den Erdmantel hinunter drückte, wodurch ein Becken entstand, das sich mit Wasser füllte (Abb. 13). Hoben sich die Alpen stark, wurden sie auch stärker erodiert und es entstanden grosse Mengen Sedimente, die das Becken schnell ausfüllten und verlanden liessen. Hob sich der Meeresspiegel, entstand wieder ein Meeresarm. Die grossen Alpenflüsse wie Aare, Rhein, Rhone oder Inn/Donau flossen damals noch nicht an denselben Orten durch wie heute. Die Hauptwasserscheide der Alpen, also die Trennlinie zwischen jenen Flüssen, die nach Norden fliessen und jenen, die nach Süden fliessen, lag damals ca. 40 km weiter südwärts, wodurch die Urflüsse von Aare und Rhein andere Einzugsgebiete² hatten als heute.

Abb. 13: Das Molassemeer vor 20 bis 18 Millionen Jahren (OMM)



1. Es lebten damals nicht nur im Molassemeer Tiere, sondern auch auf dem Land. Ihre Überreste sind jedoch noch weitaus schwieriger zu finden als die Überreste von Tieren, die im Wasser gelebt haben. Können Sie sich vorstellen, weshalb?

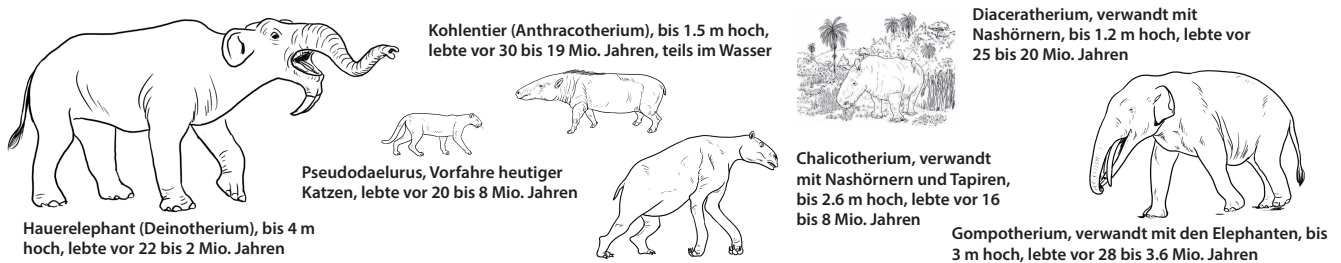


Abb. 14: Landtiere, die während der Ablagerung des Berner Sandsteins lebten (Martin Ryser, Naturhist. Museum Bern).

Von einigen grossen Landtieren, die damals lebten, hat die Wissenschaft eine recht genaue Vorstellung (Abb. 14). Dies ist möglich, wenn genügend Knochen davon gefunden wurden, so dass man deren Skelett rekonstruieren kann. Es gab vermutlich aber auch noch andere Tiere, von welchen wir nichts wissen, da bisher keine Knochen von ihnen gefunden wurden.

Vom Sediment zum Sedimentgestein: wie aus Sand und Kies festes Gestein wird

Werden in einem Fluss oder Flussdelta Sand und Kies abgelagert, entstehen zuerst lockere Sand- und Kiesablagerungen, so wie man sie heute z. B. in Kiesgruben findet. Dort sind die Ablagerungen so locker geschichtet, dass sie mit einer Schaufel oder mit einem Bagger abgegraben werden können. Damit daraus ein festes Gestein wird, müssen sich die Sand- und Kieskörner miteinander verbinden.

Wie schon im Fall des Solothurner Kalksteins erläutert, werden auch die Sand- oder Kiesschichten durch jede weitere Schicht, die sich an der Oberfläche abgelagert, in die Tiefe gedrückt. Während dieser sog. **Diagenese** werden die Sand- und Kieskörner zusammengepresst und die Zwischenräume werden immer kleiner (**Kompaktion**). In den Zwischenräumen befindet sich Wasser, in welchem Mineralstoffe gelöst sind. Wenn diese Mineralstoffe auskristallisieren, bilden sie mikroskopisch kleine Kristalle, welche die Sand- und Kieskörner miteinander verbinden, dies wird **Zementation** genannt. Dadurch entsteht ein festes Gestein (Abb. 15).

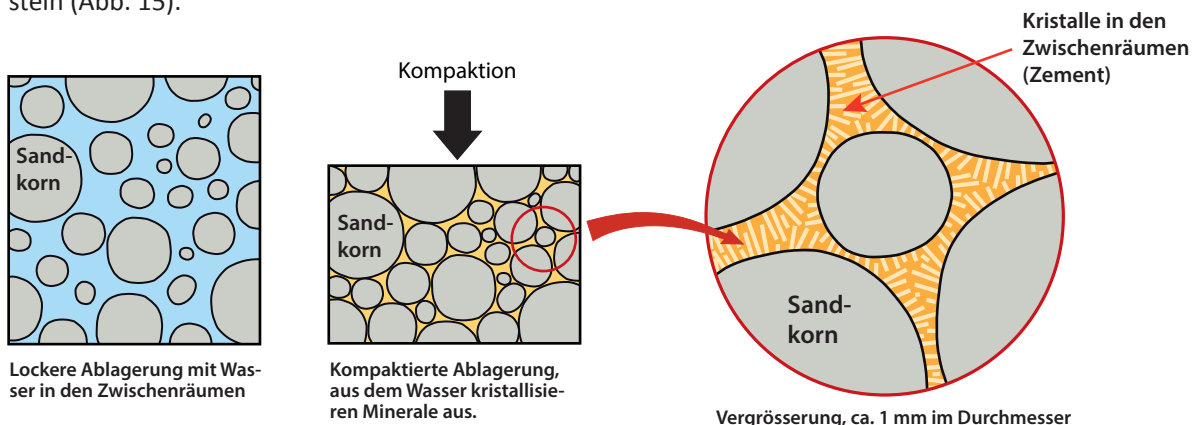


Abb. 15: Kompaktion und Zementation lockerer Ablagerungen zu einem Sedimentgestein (Diagenese)

2. Können Sie sich vorstellen, weshalb der rötlichgraue Sandstein auch «Granitischer Sandstein» genannt wird?

Welche Bedeutung hat die Farbe von Sandstein?

Sandsteine können viele Farben haben. Diese kommen entweder durch die Eigenfarbe der Sand-Komponenten, durch die Farbe des Zements oder durch beides zustande. Die Farbe des Sandes hängt von dessen Zusammensetzung, also von den darin enthaltenen Mineralkörnern ab und kann Hinweise auf das Herkunftsgebiet des Sediments geben, manchmal auch auf dessen Ablagerungsgebiet. Die Farbe des Zements kann Hinweise darauf geben, unter welchen Bedingungen die Diagenese des Gesteins stattfand.

Der «Luzerner» Sandstein ist grünlichgrau. Die farblosen bis weiss-grauen Quarzkörner, die ebenfalls weiss-grauen Feldspatkörner oder der gelbliche Kalzit-Zement in den Zwischenräumen können nicht der Grund für diese Farbe sein. Wie kommt sie also zustande? Der «Luzerner» Sandstein enthält auch grosse Mengen des grünen Minerals Glaukonit (Abb. 16). Dies ist ein sehr spezielles Mineral, denn es entstand nicht wie die Feldspat- und Quarzkörner durch Verwitterung prä-existierender Gesteine im Herkunftsgebiet des Sediments, es entstand vielmehr als Neubildung in dessen Ablagerungsraum. Glaukonit bildete und bildet sich auch heute noch im flachen, küstennahen Meerwasser während der Diagenese (vgl. Abb. 15) durch Umwandlung von Biotit (dunkler Glimmer) im Sand. Dies ist ein zusätzlicher Hinweis auf die Entstehung des «Luzerner» Sandsteins am Rand eines Meeres.



Abb. 16: Dünnschliff-Foto eines Sandsteins mit Körnern aus Quarz (Q), Feldspat (F) und Glaukonit (G) sowie mit Zement aus Kalzit (K), Vergrösserung ca. 20 x



Abb. 17: Gerundetes Granit-Geröll (G) mit rotem Feldspat im Konglomerat des Rossbergs (Kanton Schwyz), ca. halbe Originalgrösse

Der «Granitische Sandstein» hingegen ist rötlichgrau, da er neben farblosen bis weiss-grauen Quarzkörnern auch rötliche Feldspatkörner enthält. Diese grosse Menge von Bruchstücken rötlicher Feldspäte zeigt, dass es im Herkunftsgebiet des Sandes weit verbreitet Granite mit rötlichen Feldspäten gegeben haben muss, denn nur solche Granite kommen als Ursprungsgestein der Feldspatkörner in Frage. An Posten 5 werden Sie ein solches Gestein kennen lernen. Rötliche Granite sind in Form von auffälligen, gerundeten, mehrere Zentimeter grossen Komponenten in kiesigen Lagen auch in einigen Sandsteinquadern an der Fassade der Hofkirche zu erkennen (Abb. 4). In den Konglomeraten von Rigi und Speer können grosse Komponenten aus rotem Granit sogar recht häufig beobachtet werden (Abb. 17).

Jenes Gebiet, in welchem die Gesteine ursprünglich vorkamen, die später als Verwitterungs- und Erosionsprodukte in Form von Sandsteinen und Konglomeraten mit Komponenten aus rotem Granit am Nordrand der Alpen abgelagert wurden, kann dadurch aber leider nicht eingegrenzt werden, denn bekannte Vorkommen roter Granite gibt es heute nördlich der damaligen Hauptwasserscheide (Abb. 13) keine mehr, offenbar wurden sie vollständig wegerodiert.

¹ Der Begriff Molasse wurde 1779 von Horace-Bénédict de Saussure in die wissenschaftliche Literatur eingeführt. Er leitet sich womöglich vom gleichlautenden französisch-schweizerischen Wort für „sehr weich“ ab. Dieses wurde bereits im 14. Jahrhundert verwendet und geht seinerseits auf das lateinische Wort „mollis“ für „weich, mild“ zurück. In der Westschweiz wurden auch Sandsteine als Molasse bezeichnet, aus denen man Mühlsteine (lateinisch: „mola“) herstellen konnte. Heute wird der Begriff weltweit für Sedimente verwendet, die sich überwiegend im Vorland eines sich hebenden Gebirges ablagern und aus dessen Erosionsmaterial bestehen.

² Gebiete, in welchen alles Wasser in denselben Fluss fliesst.

- 3.** a) Welche Geschichten kann uns der «Granitische Sandstein» erzählen und welche nicht – und weshalb?
- b) Welcher Schluss kann aus dem, was der «Granitische Sandstein» nicht erzählen kann, gezogen werden?