

**Posten 5: Münster****Berner Sandstein - von Sand und einem Meer**

Egal von welcher Seite man die Altstadt von Bern betrachtet, der Turm des Münsters ist ihr Wahrzeichen. Das Münster ist aus Sandstein gebaut, so wie ca. tausend Häuser der Berner Altstadt ebenfalls. Sandstein ist damit das weitaus häufigste Gestein Berns. Da der Sandstein in der unmittelbaren Umgebung Berns abgebaut wurde und teils immer noch wird, spricht man von «Berner Sandstein».

**Wir werden uns mit folgenden Fragen beschäftigen:**

- Wie und wann ist der Berner Sandstein entstanden?
- Wie könnte das Gebiet der Schweiz damals ausgesehen haben ?



**Abb. 1:** Berner Münster von verschiedenen Seiten

Sandsteine bestehen, wie der Name sagt, aus Sand. Es gibt grobe Sandsteine und sehr feine. In den groben Sandsteinen sind die Sandkörner von Auge gut zu sehen, ein solcher Sandstein wurde zum Beispiel in Basel zum Bau des dortigen Münsters und des Spalentors verwendet (Abb. 2). Der Berner Sandstein hingegen ist sehr feinkörnig (Abb. 3). Wo man die Sandkörner gerade noch zu sehen vermag, sind sie etwa einen halben 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.



**Abb. 2:** Grober Sandstein, Originalgrösse, Spalentor, Basel



**Abb. 3:** Feiner Sandstein, Originalgrösse, Berner Münster

**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 Berner 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 (Abrasion) 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 Berner Sandsteins sind (Abb. 3).



Abb. 4: Die drei Hauptkomponenten des Berner Sandsteins



Abb. 5: Sandstein am Berner Münster mit Wellenrippeln und Schrägschichtung

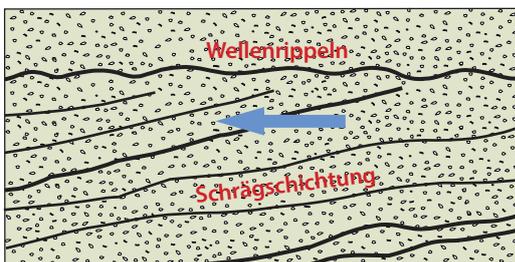


Abb. 6: Wie Foto oben, die Schichtung ist hervorgehoben. Der blaue Pfeil zeigt die Strömungsrichtung des Wassers.



Abb. 7: Wellenrippeln aus Sand an einem Strand

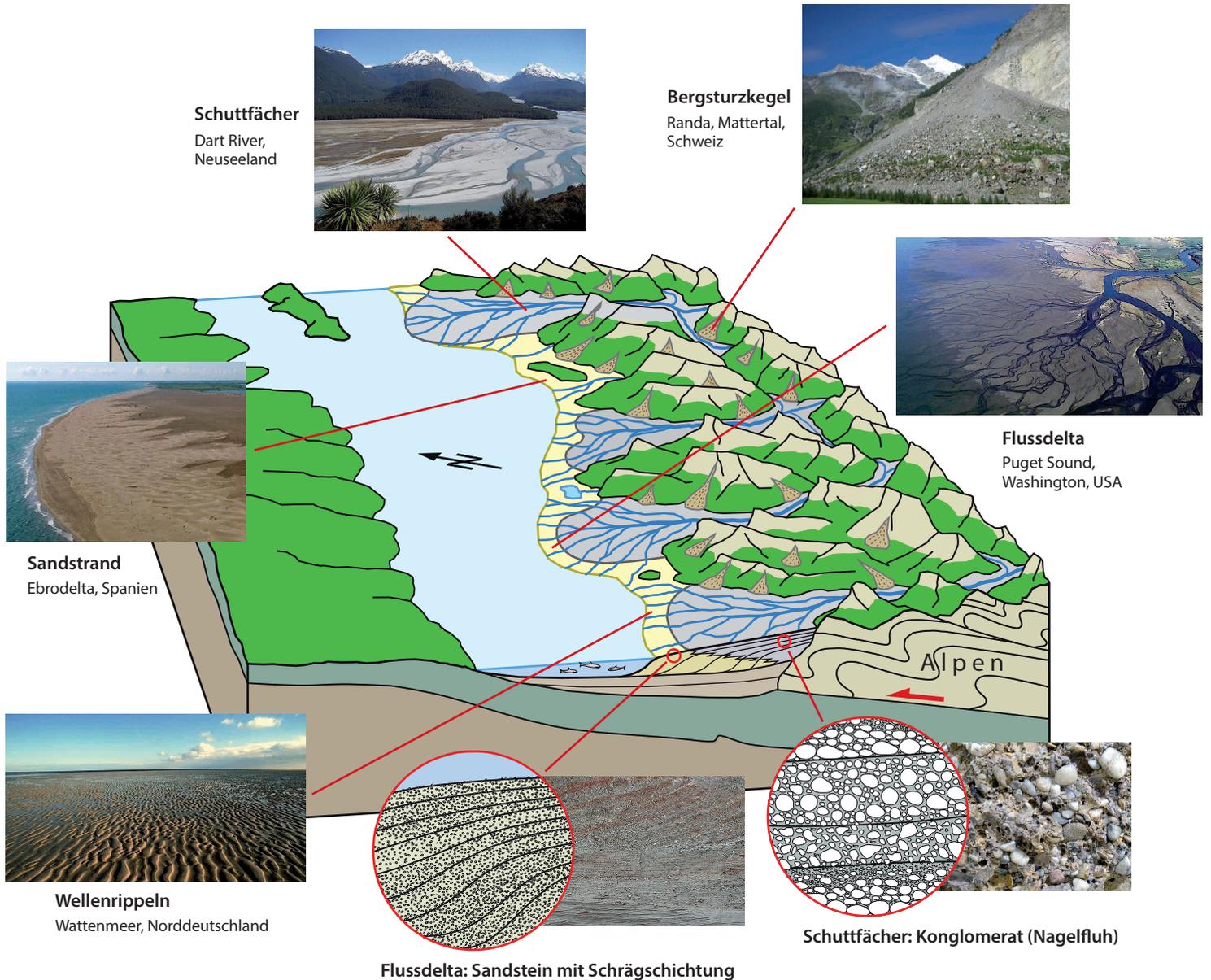
Es wundert deshalb nicht, dass Quarzkörner die häufigsten Bestandteile des Berner Sandsteins sind (Abb. 3). Wir haben schon an Posten 4 gesehen, dass Quarz besonders widerstandsfähig ist gegen Verwitterung. Auch Sandkörner aus Feldspat kommen im Berner Sandstein häufig vor. Dieser ist zwar etwas weicher 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 Berner 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 können die Art der Schichtung im Sandstein und die wenigen Fossilien, die man darin finden kann, eine Antwort geben. In fast jedem Sandsteinquader kann eine Schichtung beobachtet werden. Das ist z. B. sehr schön beim Nordportal und am Chor des Münsters zu erkennen.

### 1. Was ist das Besondere an der Schichtung des Berner Sandsteins?

Eine horizontale Schichtung, wie wir sie beim Solothurner Kalkstein gesehen haben, entsteht in stehendem Wasser. Das kann ein See oder ein Meer sein. Wurden die Schichten hingegen schräg abgelagert, so spricht man von **Schrägschichtung** (Abb. 5, 6). Schrägschichtungen entstehen, wenn Sandkörner im fließenden Wasser entweder in einem träge dahin fließenden Fluss, in einem Flussdelta oder an einem flachen Strand abgelagert werden. Flussdeltas entstehen, wenn Flüsse in einen See oder ein Meer münden, die Fließgeschwindigkeit abnimmt und alles abgelagert wird, was sie mittransportieren. Im Berner Sandstein können auch häufig gewellte Schichten beobachtet werden (Abb. 5, 6). Dies sind **Wellenrippeln**, wie sie auch heute auf weiten, flachen Sandstränden durch Wellenschlag entstehen (Abb. 7).

Die Geologie geht davon aus, dass die Gesteine früher auf dieselbe Weise entstanden sind wie heute, dies nennt man **Aktualitätsprinzip**. Der Berner 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. 8):



**Abb. 8:** So könnte der Ablagerungsraum des Berner Sandsteins ausgesehen haben.

Das Gebirge rechts in Abb. 8 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 / Schneebelhorn 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 Schrägschichtungen, wie sie für Flussdeltas und Strände typisch sind. Alle diese Ablagerungen werden unter dem Begriff **Molasse**<sup>1</sup> zusammengefasst, die Sandsteine werden deshalb gelegentlich auch als **Molas-**

Mio. Jahre

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

Abb. 9: Unterteilung der Molasseablagerungen in zwei Meeres- und zwei Süsswasserperioden

**sesandsteine** 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 wenige 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. 9).

Eine Muschel mit besonders stabiler Schale, die Herzmuschel, die auch heute noch in ähnlicher Form im Meer vorkommt, kann man in gewissen Schichten, die zu derselben Zeit abgelagert wurden wie der Berner Sandstein, öfter finden (Abb. 10). Ebenso kommen in diesen Schichten häufig Zähne von Haien vor, die auch heute noch ausschliesslich im Salzwasser leben (Abb. 11). Dies zeigt eindeutig, dass es sich um ein Meer handelte, das jedoch kaum tiefer als 50 m gewesen sein dürfte (Abb. 12). Die Berner Sandsteine gehören deshalb zur Oberen Meeresmolasse (Abb. 9). Einige wenige Überreste von Palmblättern, die im Sandstein gefunden wurden, weisen zusätzlich darauf hin, dass das Klima damals subtropisch war, also etwa wie im heutigen Mittelmeergebiet oder in Florida. Vergleichbare Naturräume gibt es heute keine mehr, sodass die Fotos zur Illustration von Abb. 8 aus verschiedenen Gebieten der Erde stammen.

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.

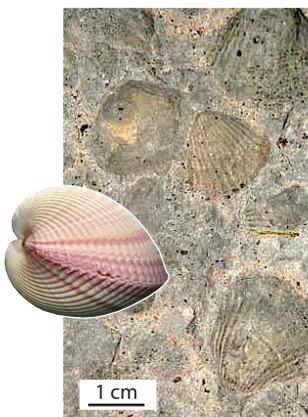


Abb. 10: Fossile Herzmuscheln aus Mägenwil (Aargau), zum Vergleich ein rezentes Exemplar.



Abb. 11: Haizähne aus Ursendorf (Süddeutschland)

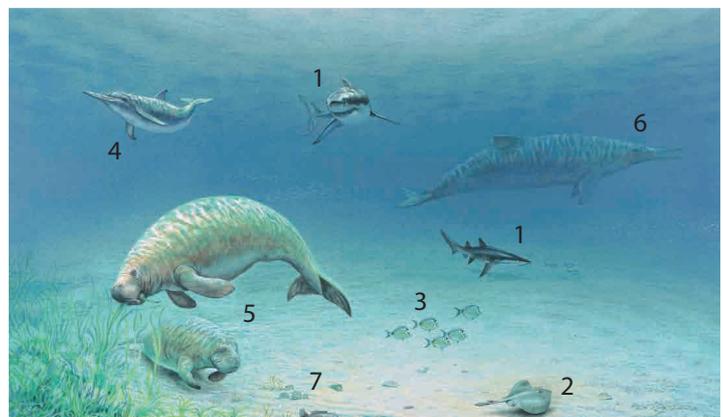


Abb. 12: Rekonstruktion des Lebens im Molassemeer anhand von Funden fossiler Organismenreste (von Beat Scheffold): Im Wasser lebten Haie (1), Rochen (2), Fische (3), Delphine (4), Seekühe (5) und Wale (6), am Boden lebten Muscheln, Seeigel und Schnecken (7).

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 verlandeten. 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 Einzugsgebiete<sup>2</sup> hatten als heute.

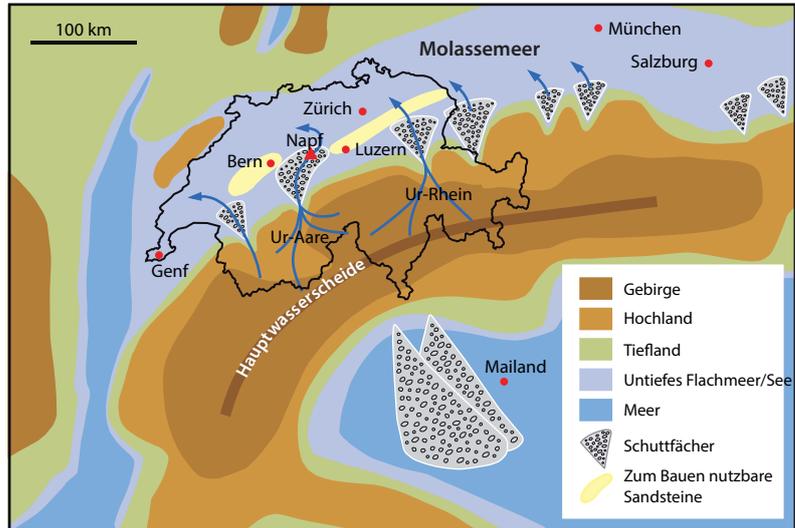


Abb. 13: Das Molassemeer vor 20 bis 18 Millionen Jahren (OMM)

**2.** 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?

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.

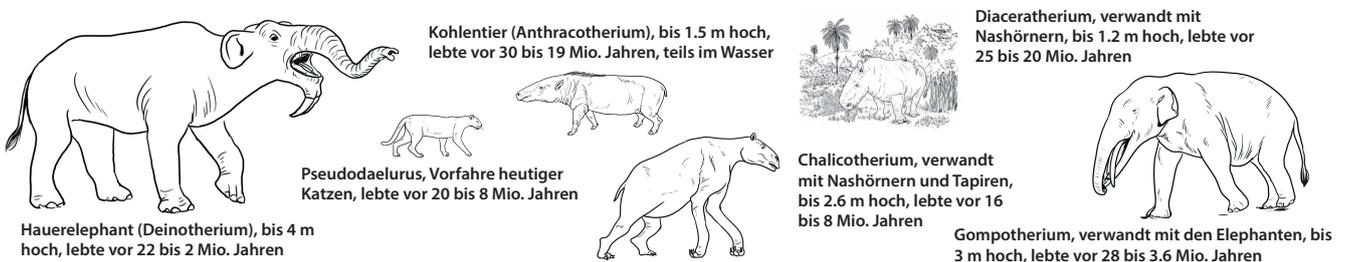


Abb. 14: Landtiere, die während der Ablagerung des Berner Sandsteins lebten (Martin Ryser, Naturhist. Museum Bern).

**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. **Dia-**

**genese** 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).

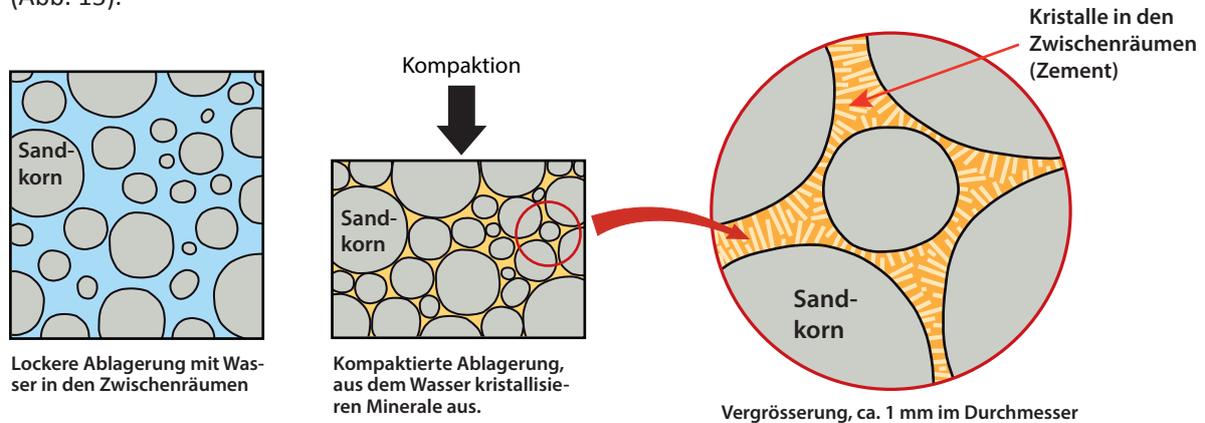


Abb. 15: Kompaktion und Zementation lockerer Ablagerungen zu einem Sedimentgestein (Diagenese)

### 3. Haben Sie eine Vermutung, weshalb im Berner Sandstein dieselben Minerale vorkommen wie im Aaregranit von Posten 4?

#### 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 Berner Sandstein ist grünlich. 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 Berner 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 im Sand. Dies ist ein zusätzlicher Hinweis auf die Entstehung des Berner Sandsteins am Rand eines Meeres.



Der Berner 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 im Sand. Dies ist ein zusätzlicher Hinweis auf die Entstehung des Berner 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

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> Gebiete, in welchen alles Wasser in denselben Fluss fliesst.