

Posten 3: Münster

Buntsandstein - von Flüssen in der Wüste

An diesem Posten lernen Sie den auffälligen, roten Buntsandstein kennen. Das Gestein wurde in Basel nicht nur zum Bau des Münsters verwendet (Abb. 1), auch diverse andere Kirchen, die Stadttore, öffentliche Gebäude und viele Wohnhäuser sind daraus gebaut. In der Schweiz findet man jedoch keinen Buntsandstein an der Erdoberfläche.

Wir werden uns mit folgenden Fragen beschäftigen:

- Wie entstand Buntsandstein?
- Wie sah die Landschaft damals aus?
- Wieso ist der Buntsandstein rot?

1. Wenn Sie genau hinschauen, können Sie an der Fassade des Basler Münsters und an seinen Türmen drei unterschiedliche Typen von Sandstein unterscheiden.

Finden Sie die drei Typen? Können Sie diese in Abb. 2 einzeichnen?



Abb. 2: Südwestfassade des Münsters unterhalb des Georgsturmes; hier wurden drei verschiedene Typen von Sandsteinen verbaut.



Abb. 1: Das Basler Münster mit seinen zwei Türmen, dem Georgsturm (links) und dem Martinsturm (rechts)

2. Was fällt Ihnen auf, wenn Sie mit der Hand über das Gestein fahren? Worin unterscheidet sich der Sandstein vom Kalkstein, den Sie an Posten 2 kennengelernt haben?

Sandsteine bestehen, wie der Name sagt, aus Sand. Es gibt grobkörnige Sandsteine, aber auch sehr feinkörnige. In den grobkörnigen Sandsteinen sind die Sandkörner leicht von Auge zu sehen. In den feinkörnigen Sandsteinen hingegen sind die Sandkörner oft so klein, dass sie von bloßem Auge kaum unterschieden werden können.

Die Sandsteine sind eine sehr farbenfrohe Gruppe von Gesteinen. Neben grauen und weissen Sandsteinen gibt es rote, braune, grüne (Abb. 3), gelbe (Abb. 4), bläuliche und mehrfarbige Sandsteine (Abb. 5). Sie alle verraten sich durch eine Oberfläche, die sich sandig anfühlt und von der sich beim Berühren Sandkörner lösen können.



Abb. 3: Grüner Sandstein, Schulhaus Rittergasse, Basel



Abb. 4: Gelber Sandstein, Gymnasium St. Leonhard, Basel



Abb. 5: Mehrfarbiger Sandstein, Petra, Jordanien

Am Basler Münster gibt es grau-grünliche, weiss-rot-rosa gestreifte (Abb. 6) und dunkelrote Sandsteine (Abb. 7). Die grau-grünlichen und die weiss-rot-rosa gestreiften sind grobkörnig, die dunkelroten feinkörnig. An diesem Posten wollen wir uns vor allem mit den dunkelroten und den weiss-rot-rosa gestreiften Sandsteinen befassen, die zum sog. **Buntsandstein** gehören. Wieso am Basler Münster so viele Sandsteinsorten nebeneinander verwendet wurden, erfahren Sie in Ergänzung 1 zu Posten 3.



Abb. 6: Der weiss-rot-rosa gestreifte Sandstein wurde am Basler Münster vor allem zum Bau der Mauern verwendet.



Abb. 7: Der dunkelrote Sandstein wurde vor allem für feine Skulpturen verwendet. Er ist weicher als der weiss-rot-rosa gestreifte.



Welche Geschichten erzählt uns der Buntsandstein?

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 (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 der Buntsandstein hauptsächlich aus dem Mineral **Quarz** besteht (Abb. 8), denn dieses ist sehr hart und resistent gegen Verwitterung. Wir werden dem Quarz in dem sehr harten Granit an Posten 6 nochmals begegnen. Auch Sandkörner aus Feldspat kommen im Buntsandstein häufig vor. Das Mineral Feldspat ist zwar etwas weicher als Quarz, es ist aber in vielen Gesteinen in derart grossen Mengen vorhanden, dass nach der Verwitte-

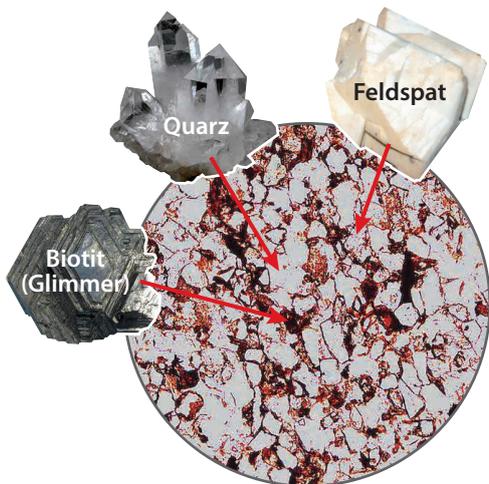


Abb. 8: Dünnschliffphoto eines Buntsandsteins, Vergrößerung ca. 15 x

rung immer ein Teil davon übrig bleibt. Die wenigen dunklen Körnchen sind Erze oder Biotit, ein Glimmer.

Der Sandstein besteht also aus Mineralkörnern, die irgendwo schon einmal Teil eines Gesteins waren, durch Verwitterung zerkleinert, von Flüssen transportiert und danach abgelagert wurden. Doch unter welchen Bedingungen geschah das? Hier helfen uns die Art der Schichtung im Sandstein und die Grösse der Sandkörner, eine Antwort zu finden:

Werden Partikel wie Schalen toter Organismen oder Sandkörner in einem stehenden Gewässer wie einem See oder Meer abgelagert, entstehen horizontale Schichten, so wie Sie dies bei Posten 2 für den Solothurner Kalkstein kennen gelernt haben. Die meisten Mauersteine aus weiss-rot-rosa gestreiftem Buntsandstein hingegen zeigen eine stark ausgeprägte schräge Schichtung, man nennt dies in der Fachsprache **Schrägschichtung** (Abb. 9). Solch ausgeprägte Schrägschichtungen entstehen, wenn Sandkörner in fließendem Wasser, in einem träge dahin fließenden

Fluss oder in einem Flussdelta abgelagert werden (Abb. 11, 12). Die dunkelroten Sandsteine hingegen sind meist horizontal geschichtet oder zeigen nur eine schwach ausgeprägte Schrägschichtung (Abb. 10). Dies deutet darauf hin, dass sie in einem stehenden Gewässer oder an einem Strand abgelagert wurden. Auch die Grösse der Sandkörner gibt uns einen Hinweis auf den Ort der Ablagerung des Sandsteins. Um groben Sand in einem Fluss zu transportieren, muss das Wasser schneller fließen, für feinen Sand reicht eine geringere Fließgeschwindigkeit.



Abb. 9: Grobkörniger, weiss-rot-rosa gestreifter Sandstein mit stark ausgeprägter Schrägschichtung



Abb. 10: Feinkörniger, dunkelroter Sandstein mit schwach ausgeprägter Schrägschichtung



Abb. 11: In bewegtem Wasser, hier in einem kleinen, langsam fließenden Fluss, wird der Sand durch die Bewegung des Wassers zu kleinen Kämmen aufgehäuft, ähnlich den Dünen, die in Wüsten vom Wind aufgehäuft werden. Diese Kämmen werden Wellenrippeln genannt.

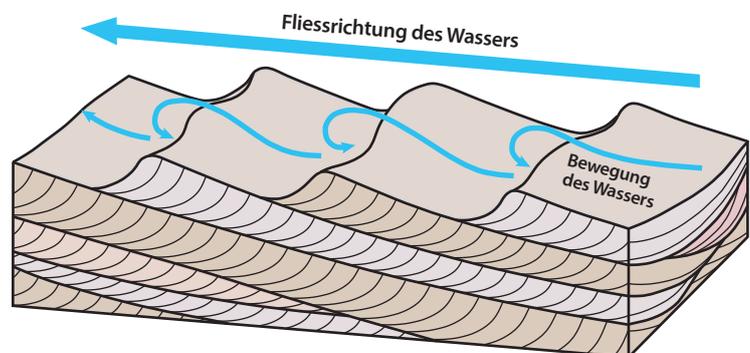
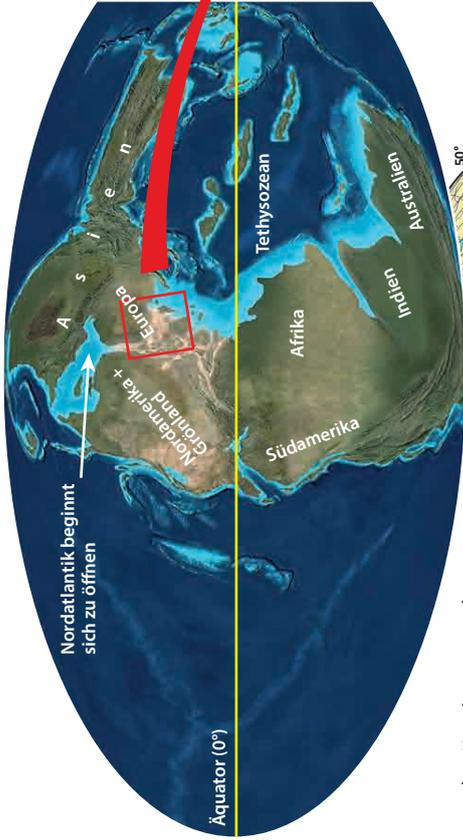
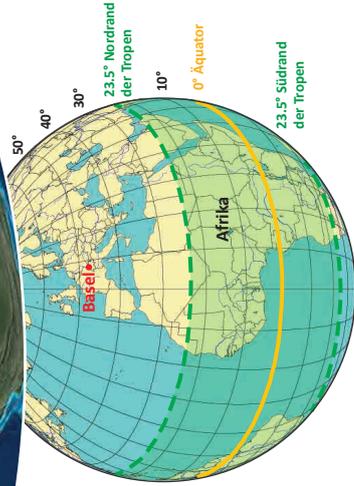


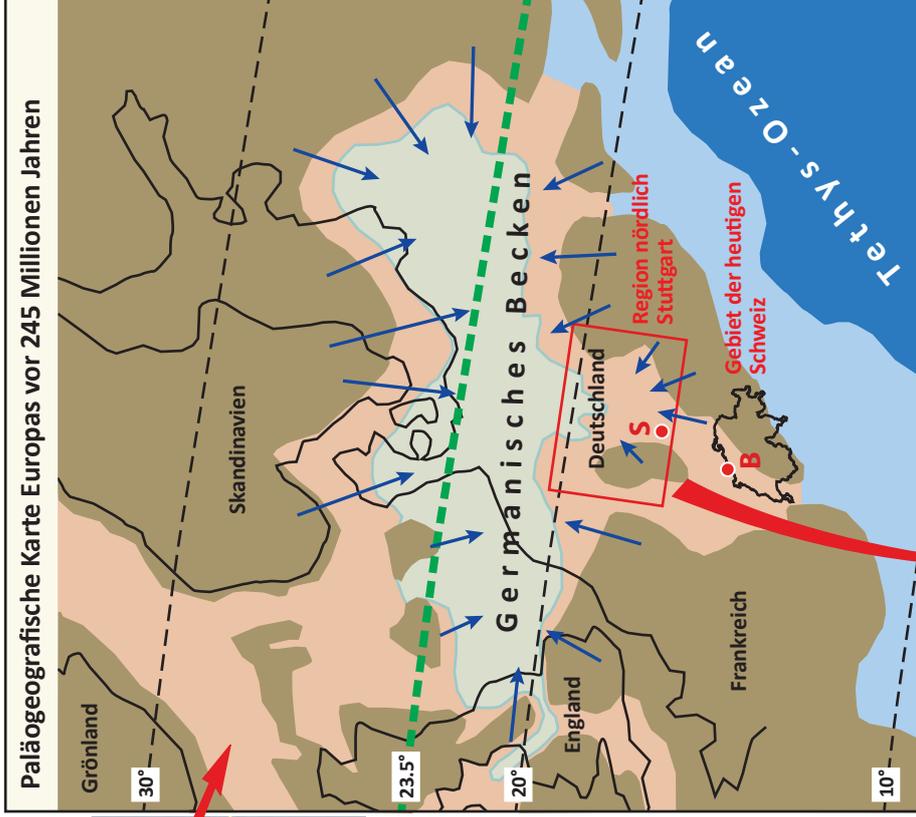
Abb. 12: Querschnitt durch Wellenrippeln. Der Sand wird in schrägen Schichten, der sogenannten Schrägschichtung abgelagert, die durch die unruhige (turbulente) Bewegung des Wassers entsteht.



Lage der Kontinente und Meere auf der Erde vor ca. 245 Millionen Jahren

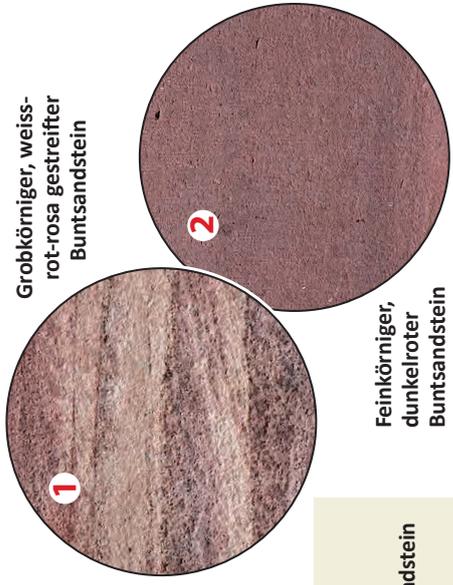
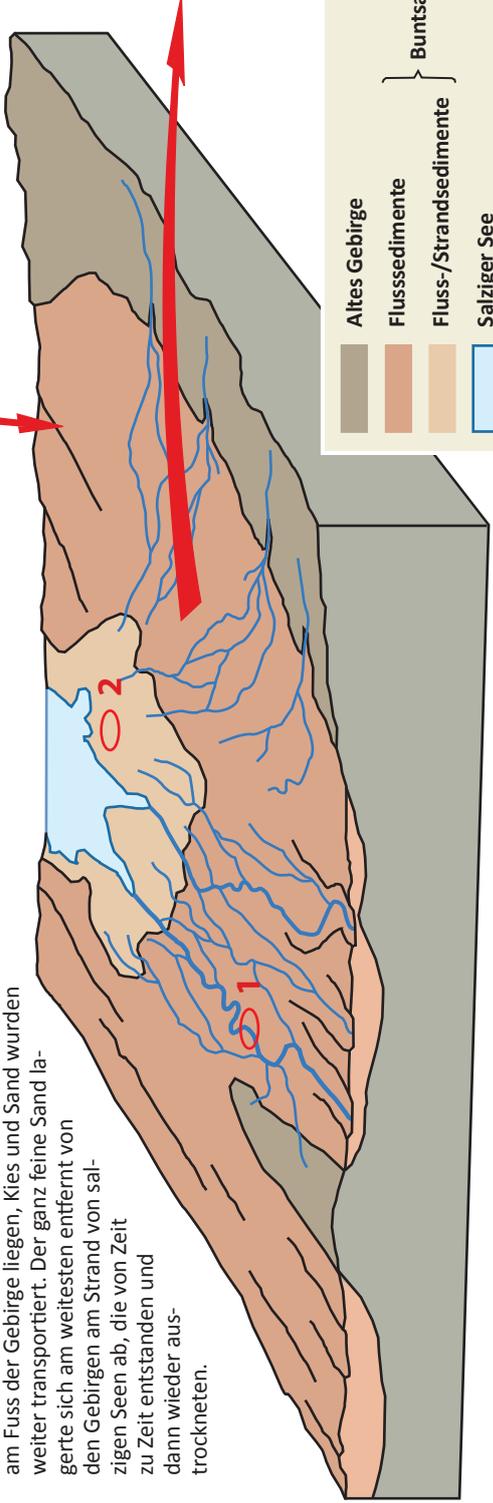


Lage der Kontinente heute



Paläogeografische Karte Europas vor 245 Millionen Jahren

So könnte die Region nördlich Stuttgart vor 245 Millionen Jahren ausgesehen haben. Alte Gebirge verwitterten und zerfielen dabei zu Geröll, Kies und Sand. Diese Produkte der Verwitterung wurden von Flüssen in eine abflusslose Senke gespült, wo sie abgelagert wurden. Das Geröll blieb am Fuss der Gebirge liegen, Kies und Sand wurden weiter transportiert. Der ganz feine Sand lagerte sich am weitesten entfernt von den Gebirgen am Strand von salzigen Seen ab, die von Zeit zu Zeit entstanden und dann wieder austrockneten.



Eine paläogeografische Karte haben Sie bereits an Posten 2 kennengelernt. Sie zeigt Lage und Form der Kontinente und Meere in vergangenen Erdzeiten. Diese können aufgrund der Geschichten rekonstruiert werden, welche die Gesteine erzählen. Für die Zeit von 245 Mio. Jahren ist die Lage einiger Küsten Europas mit schwarzen Linien angedeutet. Jene Gebiete, die später zu Italien, dem Balkan oder Griechenland werden, existierten vor 240 Mio. Jahren noch nicht.

Abb. 13: Europa vor 245 bis 240 Millionen Jahren in der Triaszeit

Wie sah Europa aus zu jener Zeit, als der Buntsandstein abgelagert wurde?

Die Geologie geht davon aus, dass die Gesteine früher durch dieselben Prozesse entstanden sind wie heute, dies nennt man **Aktualitätsprinzip**. Sie wissen bereits, dass der Buntsandstein in Flüssen oder Flussdeltas entstand. Sein Entstehungsgebiet erstreckt sich von der Nordschweiz, wo er allerdings unter jüngeren Gesteinsschichten versteckt ist, westwärts nach Frankreich und nordwärts bis zur norddeutschen Insel Helgoland. Dabei bedeckt er grosse Gebiete Deutschlands (siehe Ergänzung 1 zu Posten 3). Zu jener Zeit vor ca. 251-243 Millionen Jahren, als der Buntsandstein entstand, konnte Europa demnach nicht von einem Meer bedeckt gewesen sein, wie dies z. B. zur Zeit der Entstehung des Solothurner Kalksteins von Posten 2 der Fall war. Die Region des heutigen Deutschlands, der Osten Frankreichs und die Nordschweiz müssen damals aus mehrheitlich flachem Festland bestanden haben, das in der Geologie **Germanisches Becken** genannt wird (Abb. 13). Das Germanische Becken war von unzähligen Flüssen durchzogen, die Sand mit sich trugen. Diese Flüsse erreichten nie ein Meer, sie versickerten oder verdunsteten in abflusslosen Senken, wie man das noch heute in grossen Binnenwüsten wie der Sahara, der Takla Makan oder der Gobi beobachten kann. Manchmal entstanden für kurze Zeit auch flache, salzreiche Seen, die jedoch schnell wieder austrockneten. Der Sand, den die Flüsse mittrugen, entstand durch die Verwitterung uralter Gebirge, die bereits lange vor den Alpen in Mitteleuropa existierten. Der Überrest eines dieser Gebirge ist der Schwarzwald, der einst fast völlig aberodiert gewesen war und erst in der jüngeren Erdgeschichte nochmals angehoben wurde (heute ist der Feldberg mit 1493 Meter ü. Meer die höchste Erhebung).

Die rote Farbe, ein Hinweis auf das Klima zur Zeit des Buntsandsteins

Körner aus Quarz, die Hauptbestandteile des Buntsandsteins, sind mehrheitlich farblos, weiss oder grau. Die rote Farbe des Gesteins muss also eine andere Ursache haben: Bei der Verwitterung aller Arten von Gesteinen wird Eisen (Fe) freigesetzt, welches sich mit Sauerstoff (O₂) zu rotem Eisenoxid (Hämatit, Fe₂O₃) verbindet. Dieses Eisenoxid sammelte sich in den Zwischenräumen zwischen den Sandkörnern und trägt dazu bei, diese zusammen zu halten (Abb. 8).

Eisenoxid ist jedoch nur bei trockenen Klimabedingungen stabil, in feuchten Klimaten wandelt es sich in gelb-braunes Eisenhydroxid (vereinfacht: FeO(OH)) um, das in saurem Milieu löslich ist und weggespült wird (Regenwasser enthält immer einen gewissen Anteil an Kohlensäure: H₂O + CO₂ → H₂CO₃). Eine solch grosse Menge an Eisen, das hunderte Meter mächtige Ablagerungen rot zu färben vermag, setzt jedoch auch Perioden mit sehr feuchtem, warmen Klima voraus, das die Verwitterung des Gesteins und damit die Freisetzung von Eisen besonders stark begünstigt. Das Klima zur Zeit der Entstehung des Buntsandsteins muss demnach wechselfeucht gewesen sein, mit langen, trockenen Perioden und kurzen, regnerischen Perioden. Solche Bedingungen herrschen heute z.B. in den wechselfeuchten Tropengebieten Afrikas, Asiens und Südamerikas, wo der Gesteinsuntergrund zu rotem Laterit verwittert (Abb. 14). Niederschläge fielen damals vor allem in höheren Lagen in den Gebirgen. Flüsse trugen das Wasser aus den Gebirgen in trockene, wüstenhafte Senken, wo es verdunstete. Entstand einmal ein See, war er salzig und trocknete bald wieder aus.

Die Gründe für das warme, trockene Klima in Mitteleuropa sind vielfältig: Einerseits lagen jene Teile der Urkontinente, die später zu Mitteleuropa werden sollten, viel weiter südlich als heute, am Rand der Tropen, andererseits bildeten damals alle Kontinente eine grosse, zusammenhängende Landmasse (Abb.



Abb. 14: Laterit-Abbau in Kerala, Indien (Foto Vinayara)

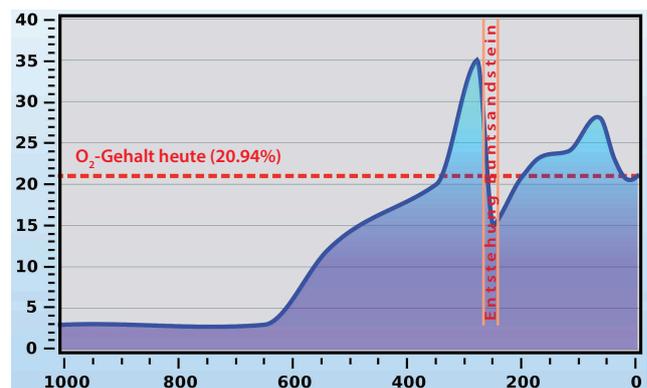


Abb. 15: Schwankungen des O₂-Gehaltes der Erdatmosphäre in % im Verlauf der letzten 1'000 Mio. Jahre

16). Auf grossen Landmassen ist das Klima trockener und heisser, da die Luftfeuchtigkeit, die über den Meeren entsteht, nicht oder nur selten bis tief ins Landesinnere vordringen kann. Heute ist dies z.B. in Zentralasien der Fall. Zusätzlich war das Klima auch weltweit wärmer und zunehmend trockener. Vor 270 bis 250 Mio. Jahren stieg der CO_2 -Gehalt der Atmosphäre innerhalb von zwanzig Millionen Jahren auf 0.4-0.5% an, das sind 10 bis 12 Mal mehr als heute. Dies führte zu einer Erhöhung der Lufttemperatur. Der Anstieg des CO_2 -Gehaltes in der Atmosphäre wird mit der Entwicklung der Tierwelt auf dem Land in Verbindung gebracht, die durch Atmung Sauerstoff in CO_2 umwandelte. Gleichzeitig entwickelten sich auch grosse Mengen an Pilzen und Bakterien, die vom Abbau toter Lebewesen lebten und dabei ebenfalls grosse Mengen an CO_2 produzierten. Auch häufige und heftige Vulkanausbrüche spielten eine Rolle, denn durch Vulkane gelangten grosse Mengen an Gasen in die Atmosphäre, unter anderem auch CO_2 .

Die Atmosphäre musste damals auch einen hohen Sauerstoffgehalt aufgewiesen haben, der die Oxidation des Eisens zu Eisenoxid begünstigte. Das ist keinesfalls selbstverständlich, enthielt die Ur-Atmosphäre vor 4.6 Mrd. Jahren doch noch keinen Sauerstoff. Erst die Entwicklung Photosynthese betreibender Organismen, zuerst im Ozean vor ca. 3.5 Mrd. Jahren (erst ab ca. 2.3 Mrd. Jahren gelangte das O_2 jedoch erstmals in die Atmosphäre) und ab ca. 480 Mio. Jahren auf dem Land, führte zu einem Anstieg des O_2 -Gehaltes in der oberflächennahen Erdatmosphäre. Dieser schwankte im Verlauf der letzten Milliarde Jahre sehr stark und war während der Entstehung des Buntsandsteins teils sogar höher als heute (Abb. 15).

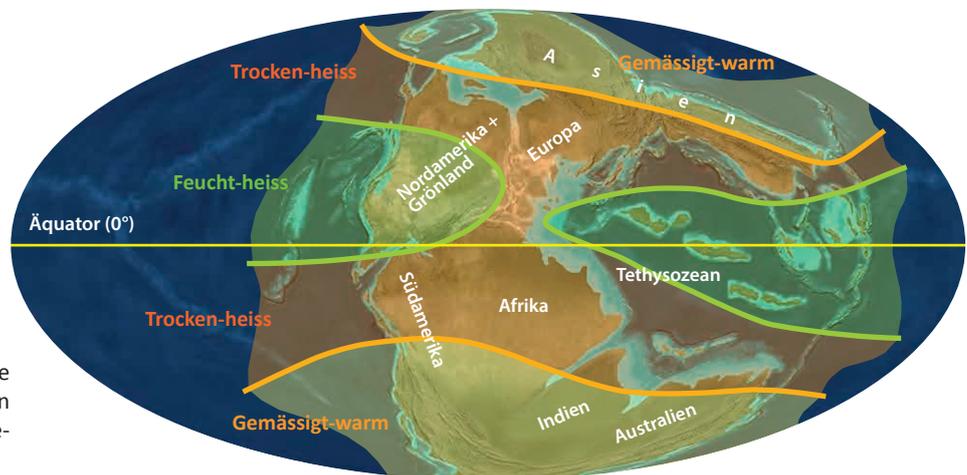


Abb. 16: So etwa könnten die Klimazonen vor 245 Millionen Jahren auf der Erde verteilt gewesen sein.

An den Ufern der Flüsse und Seen wuchs eine spärliche Vegetation in der Wüstenlandschaft, die von Landtieren wie dem Lagosuchus, einem Vorfahr der Dinosaurier, bewohnt wurde (Abb. 17). Lagosuchus wurde nur ca. 30 cm lang. Spuren seiner Fussabdrücke, die im Buntsandstein gefunden wurden, legen nahe, dass er beim Rennen Haken schlagen konnte wie ein Hase.



Abb. 17: Lagosuchus in einer spärlichen Vegetation aus ca. 2 Meter hohen Bärlappgewächsen, deren kleine Blätter eine Anpassung an das trocken-heisse Klima waren. Pflanzen verlieren dadurch weniger Flüssigkeit durch Verdunstung. Illustration von C. Joachim, Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart.

Wie wird aus Sand und Kies festes Gestein?

Wird in einem Fluss oder an einem Strand Sand abgelagert, entstehen zuerst lockere Sandablagerungen. Damit daraus ein festes Gestein wird, müssen sich die Sandkörner miteinander verbinden. Dieser Vorgang heisst **Diagenese** (Abb. 18).

Wie schon am Beispiel des Solothurner Kalksteins erläutert (Posten 2, Abb. 4), werden auch Sandschichten durch jede weitere Schicht, die sich darüber abgelagert, in die Tiefe gedrückt. Dadurch werden die Sandkörner 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 Sandkörner miteinander verbinden (Zementation). Dadurch entsteht ein festes Gestein. Wird das Gestein noch weiter in die Tiefe gedrückt, können die Sandkörner so stark zusammen gepresst werden, dass sie sich an den Rändern aufzulösen beginnen und fest miteinander verwachsen. Solcher Sandstein ist besonders hart. Im Fall des Buntsandsteins kristallisierte noch zusätzlich das rote Mineral Hämatit (Fe_2O_3) zwischen den Sandkörnern aus.

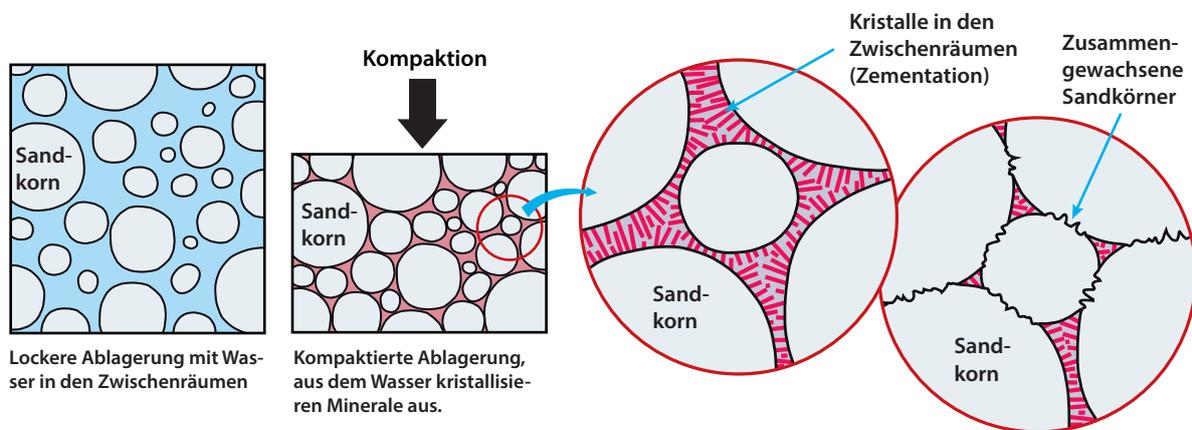


Abb. 18: Kompaktion und Zementation von Sand zu Sandstein (Diagenese)

3. Vergleichen Sie die Ablagerung des Buntsandsteins mit jener des Solothurner Kalksteins.

Buntsandstein:

Kalkstein:

4. a) Wieso ist der Buntsandstein rot?

b) Was lässt sich aus der Rotfärbung von Sedimentgesteinen allgemein schliessen?

5. Welche Aussagen sind korrekt?

- a) Sandstein wird immer am Strand eines Meeres abgelagert.
- b) Je höher der Anteil an Quarz im Sandstein, desto grösser war die Transportdistanz des Sandes.
- c) Je besser gerundet die Körner im Sandstein sind, desto weniger weit wurde der Sand transportiert.

6. a) Weshalb deutet Sandstein, der vorwiegend aus Quarz besteht, mit hoher Wahrscheinlichkeit auf das Vorhandensein von Landmassen über dem Meeresspiegel und ein Relief (Gebirge) hin, selbst wenn davon nichts mehr übrig ist?

b) Wie, wenn nicht im Wasser, könnte Sandstein sonst noch entstehen?