

Posten 4: Kruzifix beim Hoffriedhof**Buntsandstein - von Flüssen in der Wüste**

An diesem Posten lernen Sie den auffälligen, roten Buntsandstein kennen. Aus Buntsandstein bestehen in Basel das mittelalterliche Münster und fast alle Gebäude der Altstadt, in Zürich ist Buntsandstein als Strassenpflaster zu finden, in Luzern hingegen wurde das Gestein äusserst selten verwendet.

Wir werden uns mit folgenden Fragen beschäftigen:

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

Seit wann es beim Hoffriedhof ein Kruzifix gibt, ist nicht überliefert. Das heutige Kruzifix aus Buntsandstein ist eine Kopie seines Vorgängers unbekannten Datums, die im Jahr 1961 vom Luzerner Bildhauer Leopold Häfliger sen. (1906 – 1974) angefertigt wurde (Abb. 1).

Seit dem Mittelalter wurde Buntsandstein aus dem Schwarzwald als Baustein verwendet, ab den 1960-er Jahren wurde Elsässer Buntsandstein auch verbreitet als Pflasterstein eingesetzt. Der Schwarzwälder Buntsandstein ist sehr verwitterungsanfällig und wurde in den 1960er-Jahren längst nicht mehr abgebaut, jener aus dem Elsass hingegen ist äusserst hart

und für Bildhauerarbeiten ungeeignet, so dass angenommen werden muss, dass das Gestein für das Kruzifix beim Hoffriedhof aus dem Maingebiet in Deutschland stammt. Von dort werden auch bis heute Steine für Reparaturarbeiten am Basler Münster bezogen (siehe Ergänzung 2).

Die Sandsteine sind, wie Ihnen mittlerweile sicher schon aufgefallen ist, eine sehr farbenfrohe Gruppe von Gesteinen. Neben grauen und weissen Sandsteinen gibt es rote, braune, gelbe, grünliche, bläuliche und mehrfarbige Sandsteine (Abb. 2). Sie alle verraten sich durch eine sandige Struktur, die feiner oder gröber, fest oder porös sein kann und durch eine Oberfläche, die sich sandig anfühlt. Nicht jeder farbige Sandstein wird jedoch als Buntsandstein bezeichnet, dieser Begriff ist reserviert für Gesteine aus einem ganz bestimmten Abschnitt der Erdgeschichte.



Abb. 1: Max Häfliger 1961 bei der Arbeit am Kruzifix, Foto Max Albert Wyss.



Grünlicher und bräunlicher Sandstein, Zürcher Rathaus



Gelber Sandstein, St. Leonhard, Basel



Rot-blauer Sandstein, Petra, Jordanien

Abb. 2: Verschiedenfarbige Sandsteine.



Welche Geschichten erzählt uns der Buntsandstein?

Die Entstehung von Sandstein wurde bereits an Posten 3 eingehend erläutert. Wie jeder Sandstein besteht auch der rote Buntsandstein aus mehr oder weniger weit transportiertem Ablagerungsmaterial, das durch die vorgängige Verwitterung von Gesteinen in Gebirgen entstanden war. Im Fall des Buntsandsteins existieren diese Gebirge heute kaum oder gar nicht mehr. Was aber unterscheidet den Buntsandstein vom Molassesandstein, den Sie an Posten 2 kennengelernt haben? Im Gegensatz zu jenen Sandsteinquadern, aus welchen die Gebäude in Luzern gebaut wurden (vgl. Posten 3, 13, 14), muss ein Sandstein, der sich für filigrane Steinhauerarbeiten eignet, gleichzeitig möglichst widerstandsfähig und trotzdem bearbeitbar sein. Er darf auch nicht porös sein, sodass kein Wasser in Poren eindringen und ihn zerstören kann. Der Buntsandstein aus dem Maingebiet erreicht dies, indem er fast ausschliesslich aus harten Quarzkörnern besteht, die durch besonders grosse Belastung durch überlagernde Schichten ausserordentlich fest miteinander verbunden sind (Abb. 3). Weichere Minerale wie Feldspat und Glimmer, die z. B. in den Sandsteinen von Posten 3, 13 und 14 (vgl. Posten 3, Abb. 16) in grösserer Menge vorhanden sind, fehlen fast ganz.

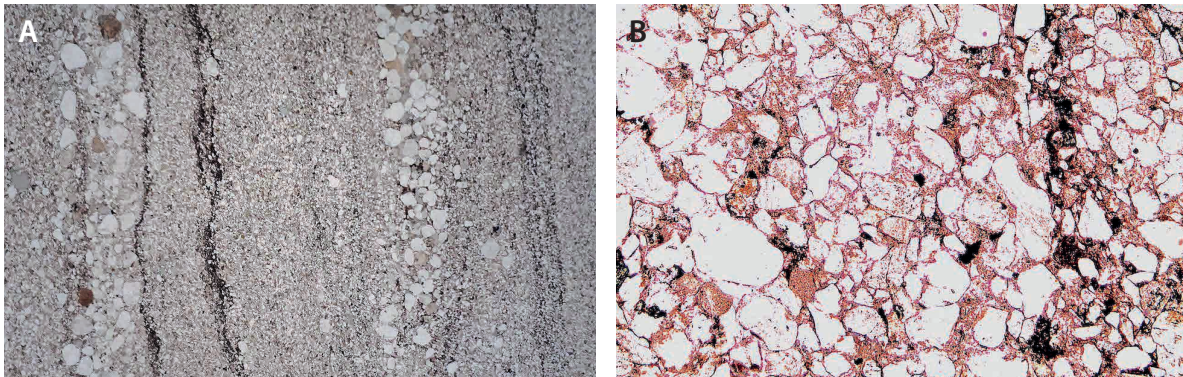


Abb. 3: Dünnschliff eines Buntsandsteines; A: ca. 10 x vergrössert; B: ca. 40 x vergrössert (rot: Hämatit, Fe_2O_3)

1. Ist der sehr quarzreiche Buntsandstein im Vergleich zu den Sandsteinen von Posten 3 eher weiter oder eher weniger weit transportiert worden? Erläutern Sie.

Für feine Bildhauerarbeiten wie das Kruzifix eignen sich Sandsteine aus mächtigen, vollständig homogenen Schichten am besten. Solche Gesteine können im Maingebiet in vielen Steinbrüchen gewonnen werden (Abb. 4). Interessanter für die Geologie sind jedoch jene Sandsteine, die, wie auch die Molassesandsteine von Posten 3, **Schrägschichtungen** zeigen (Abb. 5). Diese entstehen, wenn Sandkörner in fließen-



Abb. 4: Mächtige, homogene Sandsteinschicht (gelb markiert)



Abb. 5: Sandstein mit Schrägschichtung (gelb markiert)

dem Wasser, in einem träge dahin fliessenden Fluss oder in einem Flussdelta abgelagert werden (Abb. 6). Um groben Sand oder Kies in einem Fluss zu transportieren, muss das Wasser schneller fliessen, für feinen Sand reicht eine geringe Fließgeschwindigkeit.

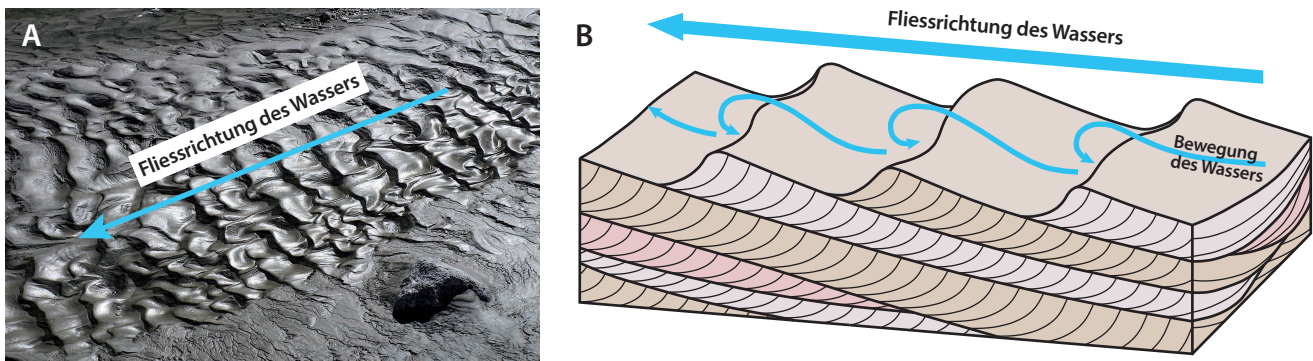


Abb. 6A: In bewegtem Wasser, hier in einem kleinen, langsam fliessenden Fluss, wird der Sand durch die Bewegung des Wassers zu kleinen Kämmen aufgehäuft, ähnlich den Dünen in einer Wüste. Diese werden Wellenrippeln genannt.

Abb. 6B: Querschnitt durch Wellenrippeln. Der Sand wird in schrägen Schichten, der sogenannten Schrägschichtung, abgelagert, welche durch die unruhige (turbulente) Bewegung des Wassers entsteht.

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 2 zu Posten 4). 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. 7). 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 nordöstlich des Rheins bei Basel, 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 (O_2) zu rotem Eisenoxid (Hämatit, Fe_2O_3) verbindet. Dieses Eisenoxid bildet einen dünnen roten Belag um die Sandkörner herum (Abb. 3B), teilweise sammelte es sich auch in den Zwischenräumen zwischen den Sandkörnern und trägt dazu bei, diese zusammen zu halten.

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: $H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3$). 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

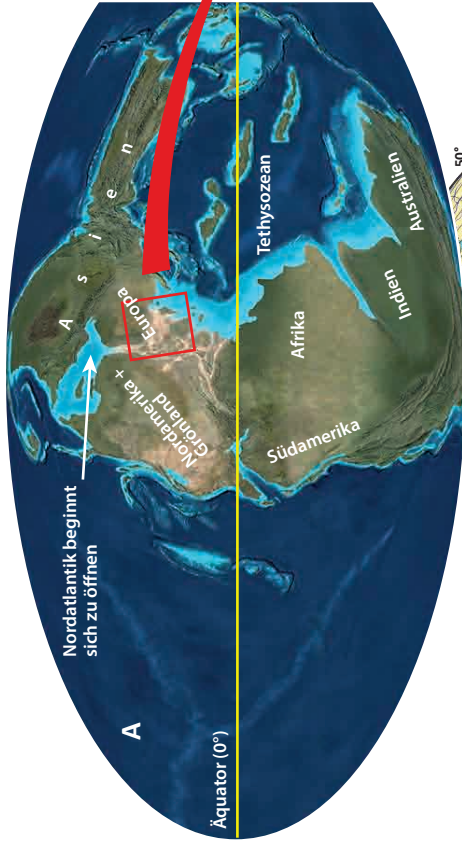


Abb. 7A: Lage der Kontinente und Meere auf der Erde vor ca. 245 Millionen Jahren

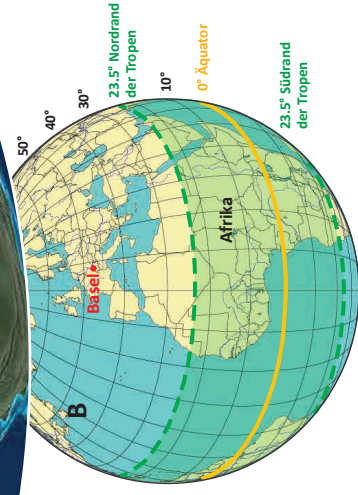
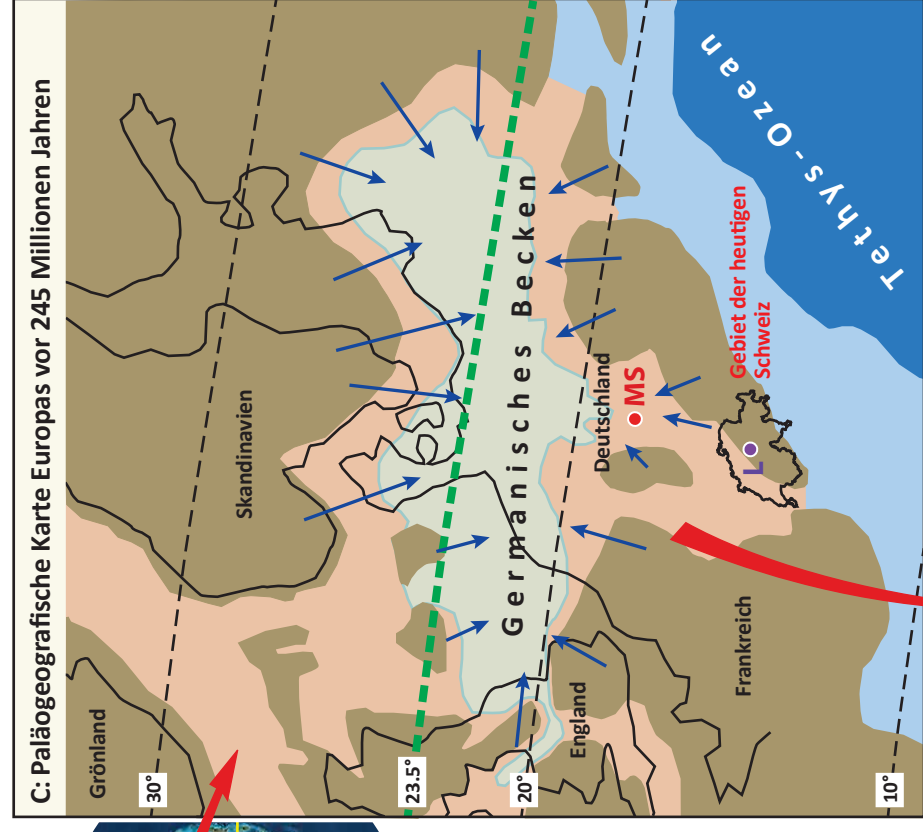


Abb. 7B: Lage der Kontinente heute



C: Paläogeografische Karte Europas vor 245 Millionen Jahren

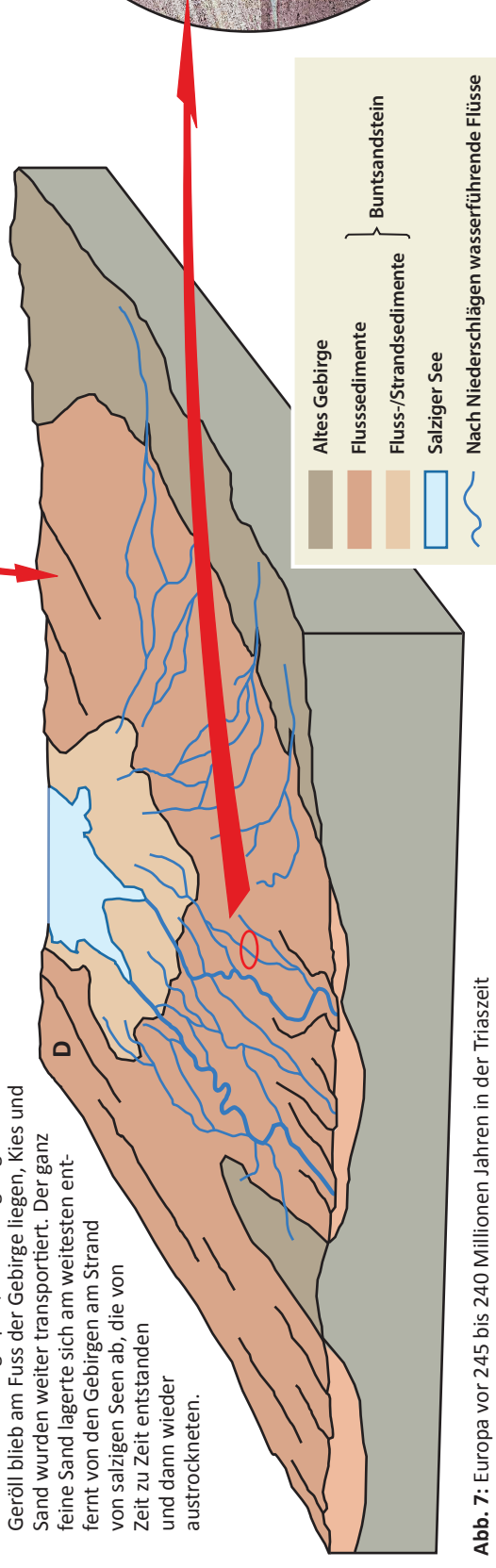


Abb. 7: Europa vor 245 bis 240 Millionen Jahren in der Triaszeit

Abb. 7D: 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.

- Hochland/Gebirge
- Vorwiegend Flusssedimente
- Salzige Seen (nur zeitweise)
- Flachmeer
- Tiefsee
- Nordbegrenzung der Tropen
- Fließrichtung der Flüsse
- Lucern, Stuttgart
- Abbaugbiet des Main-Sandsteins (Buntsandstein aus dem Maingebiet)

L, S

MS

Abb. 7C: 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.

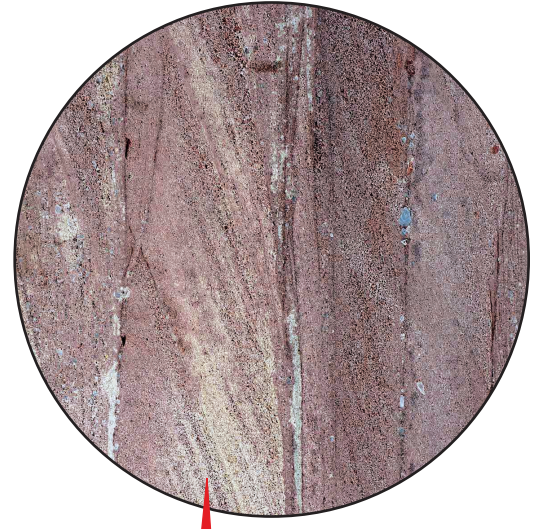




Abb. 8: Laterit-Abbau in Kerala, Indien (Foto Vinayaraj)

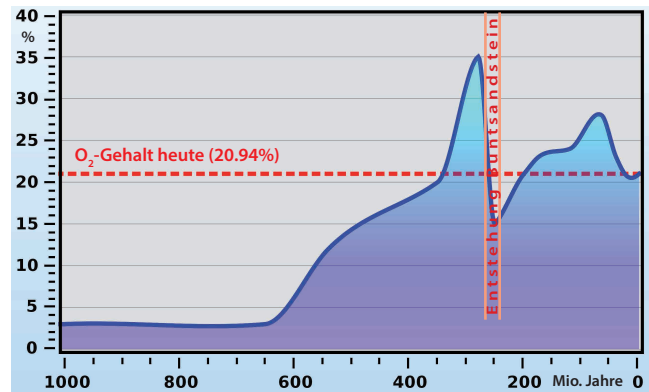


Abb. 9: Schwankungen des O_2 -Gehaltes der Erdatmosphäre in % im Verlauf der letzten 1'000 Mio. Jahre

und Südamerikas, wo der Gesteinsuntergrund zu rotem Laterit verwittert (Abb. 8). 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:

- Jene Teile der Urkontinente, die später zu Mitteleuropa werden sollten, befanden sich viel weiter südlich als heute, am Rand der Tropen (Abb. 7A).
- Alle Kontinente bildeten damals eine grosse, zusammenhängende Landmasse. 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 (Abb. 10). Heute ist dies z.B. in Zentralasien der Fall.
- Vor 270 bis 250 Mio. Jahren stieg der CO_2 -Gehalt der Atmosphäre innerhalb von zwanzig Millionen Jahren auf 0.4-0.5%, 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 gelangen 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. 9).

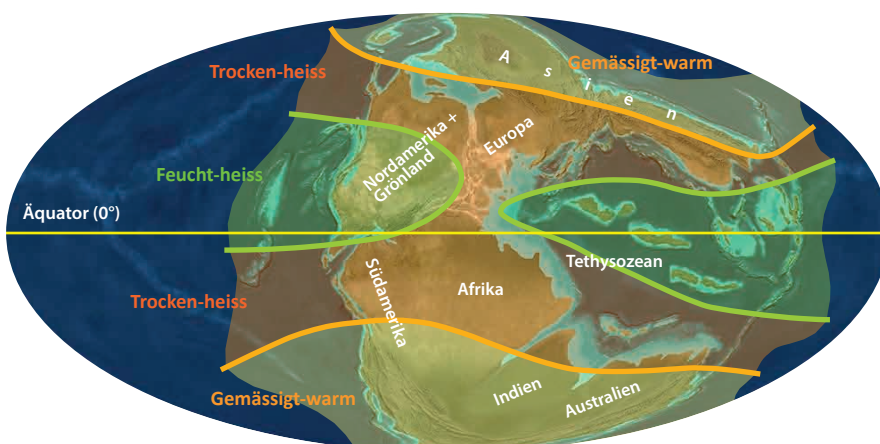


Abb. 10: So etwa könnten die Klimazonen vor 240 Millionen Jahren auf der Erde verteilt gewesen sein.

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. 11). 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. 11: Lagosuchus in einer spärlichen Vegetation aus ca. 2 Meter hohen Bärlappgewächsen, deren kleine Blätter eine Anpassung an das trockenhisse Klima waren. Pflanzen verlieren dadurch weniger Flüssigkeit durch Verdunstung.

Illustration von C. Joachim, Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart.



Wieso ist der Buntsandstein aus dem Maininger Gebiet speziell geeignet für feine Bildhauerarbeiten?

Im Vergleich zu den Molassesandsteinen von Posten 3 besteht der Buntsandstein aus dem Maininger Gebiet fast ausschliesslich aus harten Quarzkörnern, die weichen Feldspat- und Glimmerkörner fehlen weitgehend. Er ist auch dichter, das heisst er hat kaum Poren, die Wasser aufsaugen können, was zu Abplatzungen führen kann (vgl. Posten 14). Zusätzlich ist die Verbindung der Sandkörner stabiler. Anstelle einer weichen, verwitterungsanfälligen Zementierung durch Kalzitkristalle in den Poren zwischen den Sandkörnern (vgl. Posten 3, Abb. 16), wurden die Sandkörner so stark zusammengepresst, dass sie sich randlich auflösen begannen und fest miteinander verwuchsen (Abb. 12). Dies ist nur möglich, weil das Gestein durch die Überlast vieler hunderte oder sogar tausende Meter mächtiger, weiterer Schichtenstapel, die sich darüber ablagerten, weit in die Tiefe gedrückt wurde. Solcher Sandstein ist besonders kompakt. Im Fall des Buntsandsteins kristallisierte noch zusätzlich das rote Mineral Hämatit (Fe_2O_3) zwischen den Sandkörnern aus.

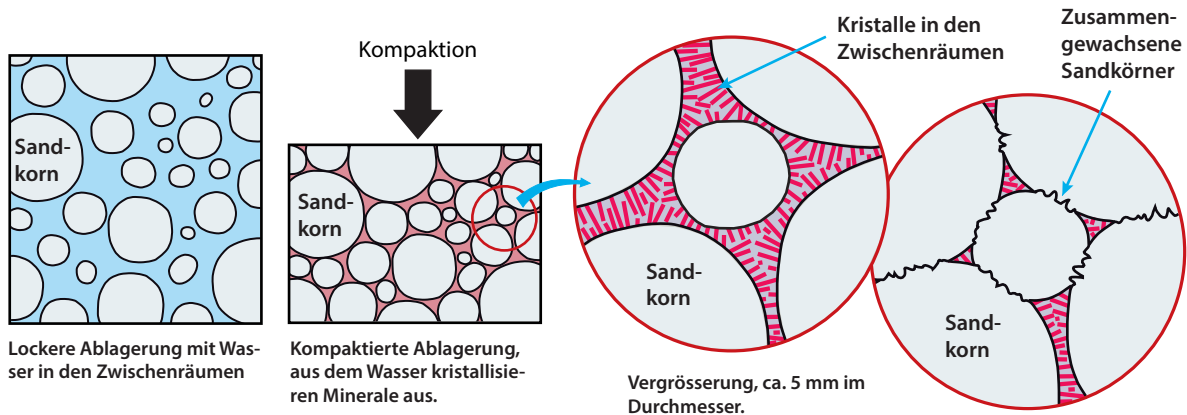


Abb. 12: Kompaktion und Zementation lockerer Sandablagerungen zu einem harten Sandstein

2. Vergleichen Sie die Ablagerung und die Eigenschaften des Buntsandsteins mit jenen des Molassesandsteins von Posten 2.

Buntsandstein:

Molassesandstein:

3. a) Wieso ist der Buntsandstein rot?

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

4. 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.

☐☐☐

5. 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 nichts mehr davon übrig ist?

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