

Grundlagen der Sprache der Gesteine

Ergänzung: Fossilien

1. Entstehung von Fossilien

Fossilien sind Überreste oder Lebensspuren ausgestorbener oder rezent (= heute) vorkommender Organismen. Der weit verbreitete Begriff „Versteinerung“ ist zwar in der Umgangssprache ein Synonym des Wortes Fossil, deckt aber genau genommen nur einen kleinen Teil der Fossilien ab. Die meisten Fossilien sind mineralische Hartteile (Schalen oder Innenskelette) von Lebewesen, die bis heute im Gestein konserviert wurden. Nur jene Fossilien, bei welchen tatsächlich während der Diagenese organisches Material in mineralisches Material umgewandelt wurde, sind wirkliche Versteinerungen, dazu gehören alle fossilen Pflanzenteile, auch die Kohle.

Um einen Organismus oder Teile davon zu erhalten, muss er nach dem Tod schnell von einer schützenden Sedimentschicht überdeckt werden. Diese schützt ihn vor Zerstörung durch Umwelteinflüsse wie z. B. fließendes Wasser (Fluss, Meeresströmung) oder Wellenschlag (See oder Meer), aber auch vor Frass und Destruenten wie Pilzen und Bakterien. Je zerbrechlicher oder grösser der Organismus ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass er als Ganzes erhalten bleibt. Kleine, dickwandige Muschelschalen zum Beispiel sind beinahe unzerstörbar, dünnwandige Schneckenhäuser hingegen zerbrechen sehr leicht.

Der Weg eines Fossils von seiner Ablagerung als toter Organismus im lockeren Sediment bis es schliesslich im festen Sedimentgestein gefunden wird, die sogenannte **Fossilisation**, kann sehr unterschiedlich sein (Abb. 1). Er hängt im Wesentlichen davon ab, woraus die konservierbaren Teile eines Organismus bestehen. Auch die Zusammensetzung des umgebenden Sedimentes sowie Wasser, das in dessen Poren zirkuliert, spielen eine Rolle, denn darin laufen während der Diagenese vielfältige chemische Reaktionen ab. Das Fossil durchläuft dabei Umkristallisations- und Auflösungsprozesse (Abb. 1).

Die weitaus häufigsten Fossilien sind Überreste mariner Organismen, welche Schalen aus Kalziumkarbonat (CaCO_3) bilden. In der Regel findet man davon entweder die Schalen selbst oder einen Steinkern, also die Sedimentfüllung, welche nach der Verwesung der organischen Teile in die Schale eingedrungen ist (Abb. 1, 2).

Woher aber nehmen diese Organismen das Kalziumkarbonat für den Aufbau ihrer Schalen? Bei der chemischen Verwitterung von Gestein wird Kalzium (Ca^{2+}) frei. Der wichtigste Lieferant von Ca^{2+} ist das Mineral Kalzit, das die Kalksteine aufbaut. Kalziumlieferanten sind jedoch auch Feldspäte z. B. aus verwitternden Graniten. Mit der Kohlensäure im Regen reagiert Kalzit zu Kalziumhydrogenkar-

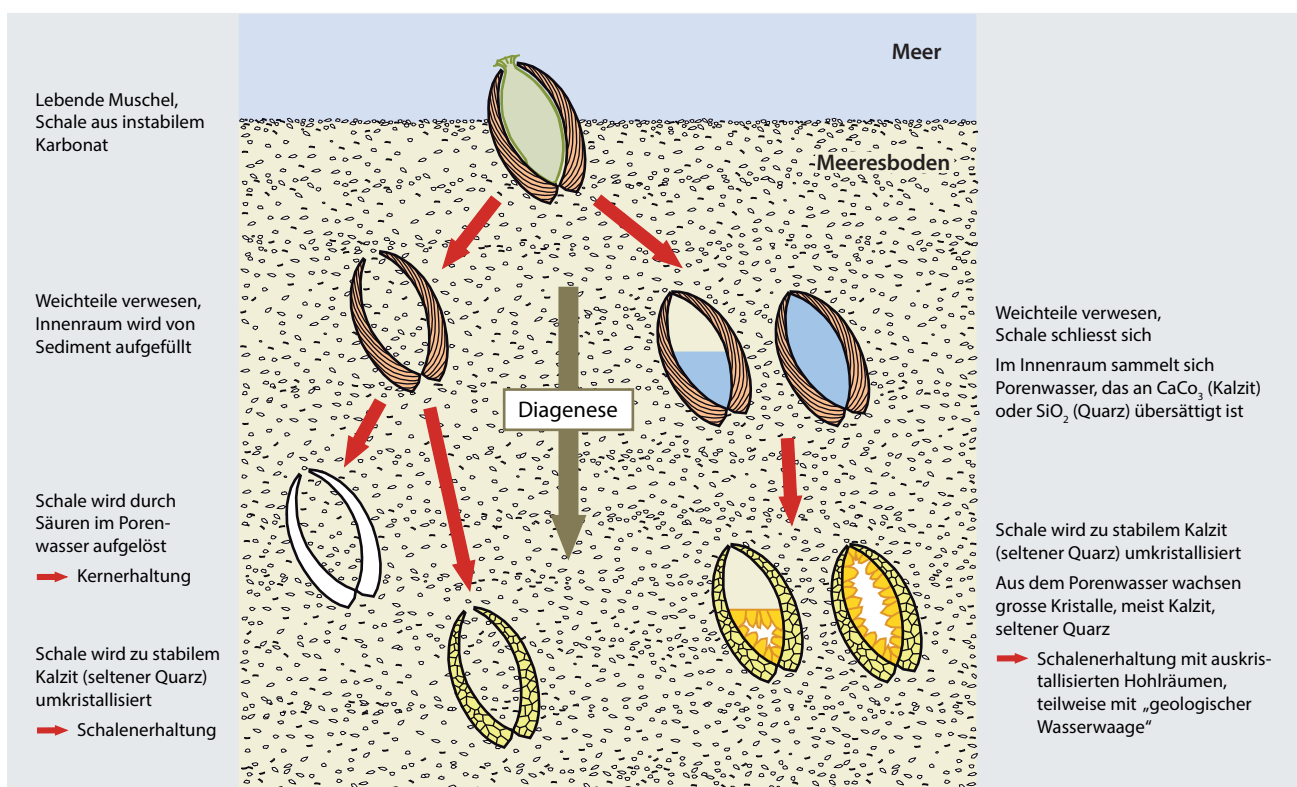
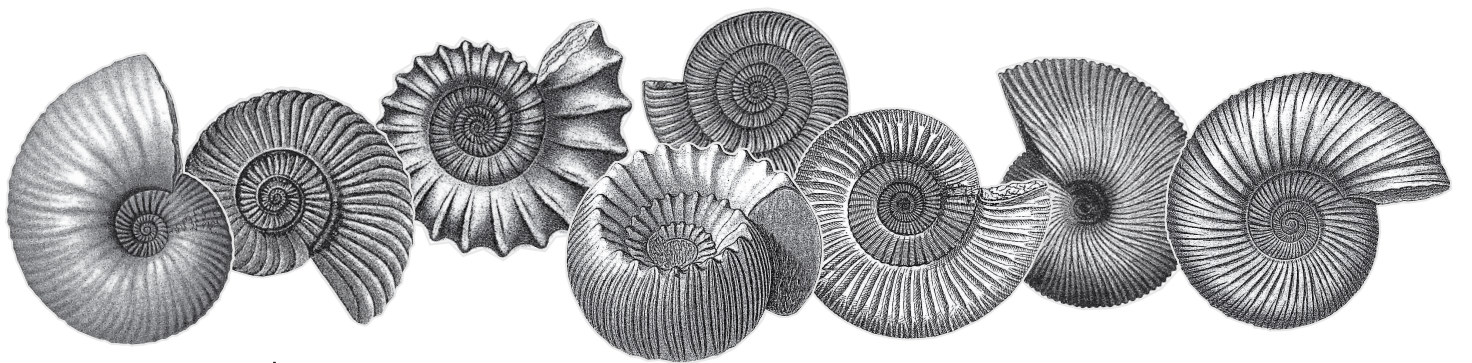


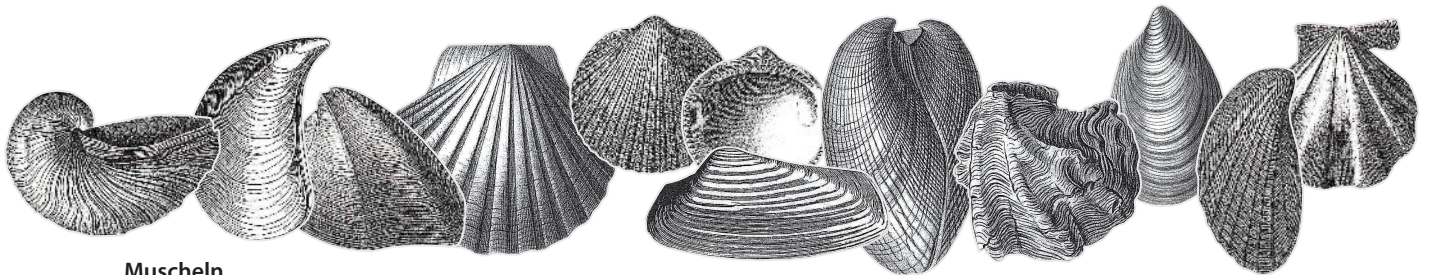
Abb. 1: Verschiedene Wege vom lebenden Tier zum Fossil am Beispiel einer Muschel.



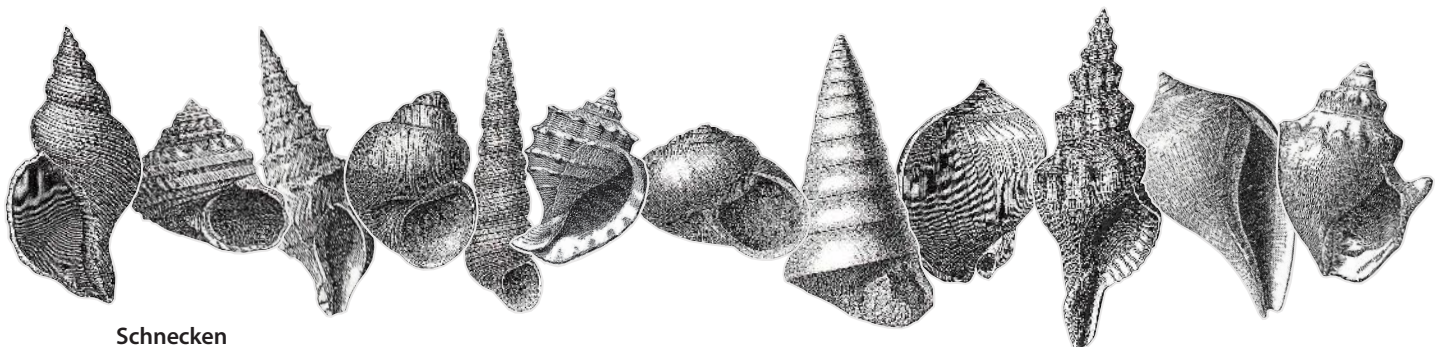
Abb. 2: Verschiedene Arten der Fossilisation am Beispiel von Ammoniten, Schnecken und Muscheln (siehe auch Abb. 1).



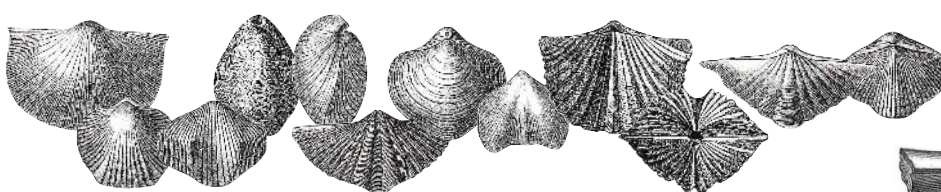
Ammoniten †



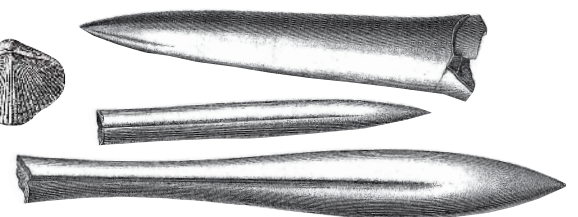
Muscheln



Schnecken

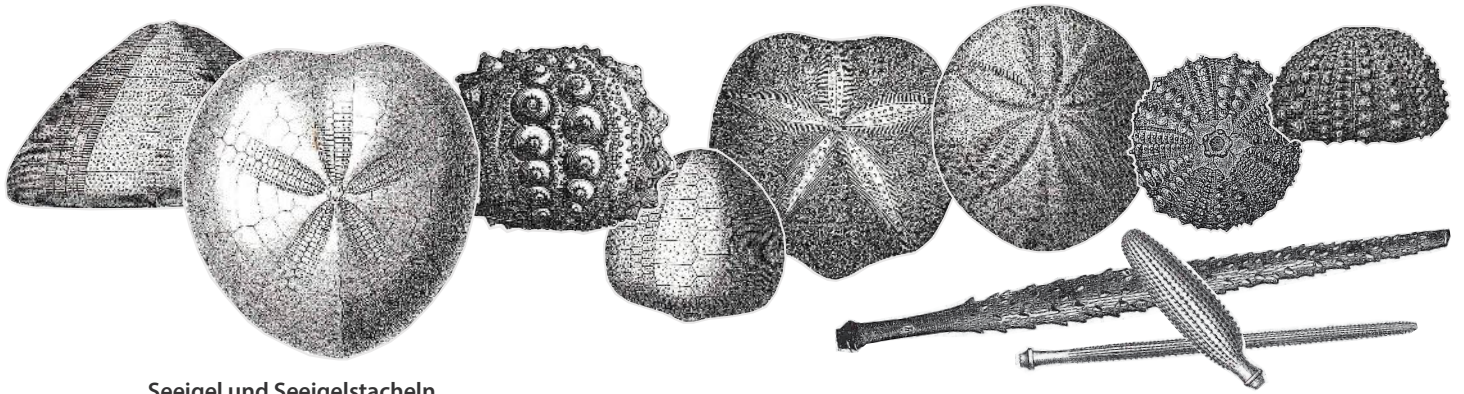


Brachiopoden (Armfüßer)

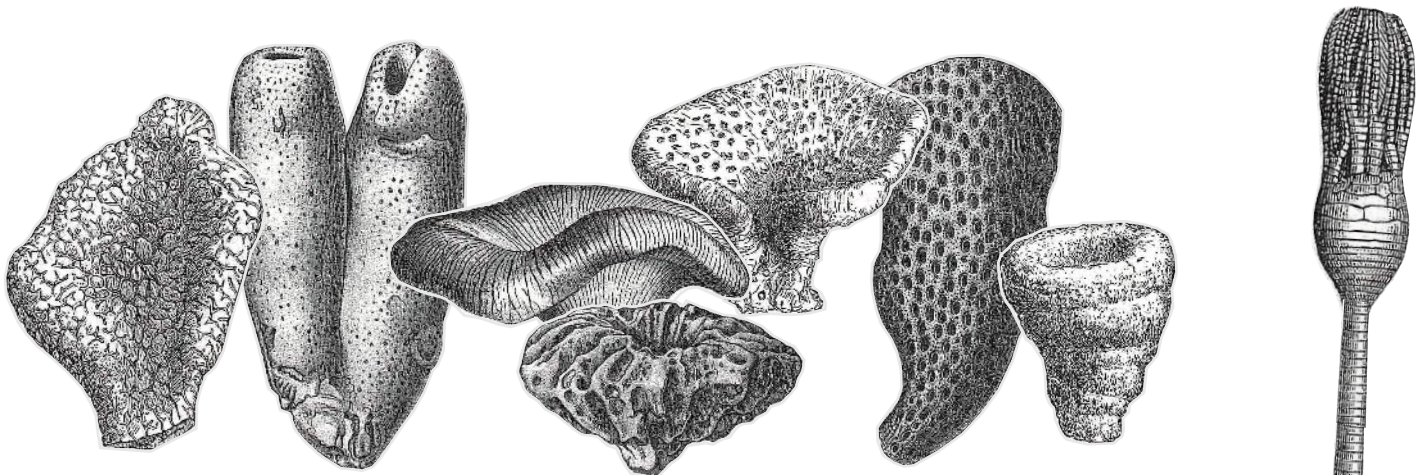


Belemniten †

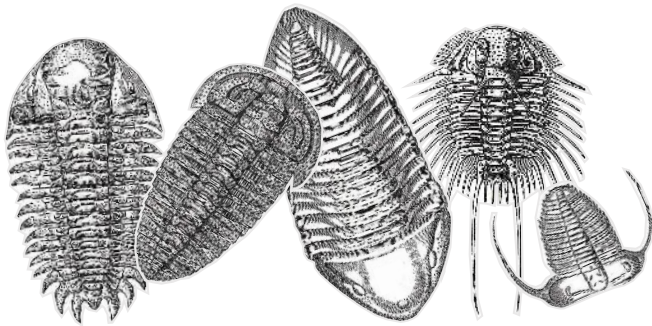
Abb. 3: Vielfalt der tierischen fossilen Organismen im Meer I (Zeichnungen in historischen Lehrbüchern aus dem 19. und frühen 20. Jahrhundert). „†“ bedeutet, dass die Organismengruppe als ganzes ausgestorben ist.



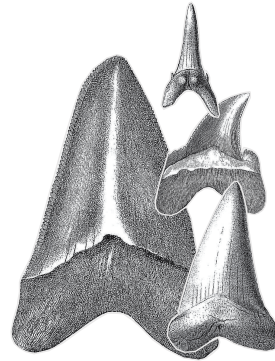
Seeigel und Seeigelstacheln



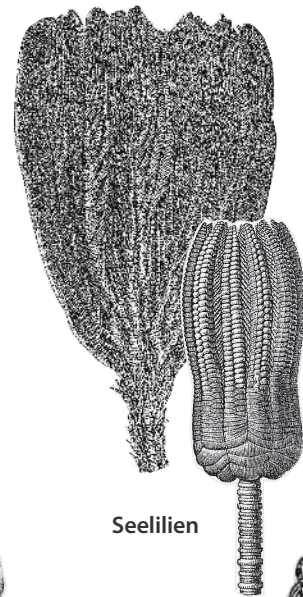
Schwämme



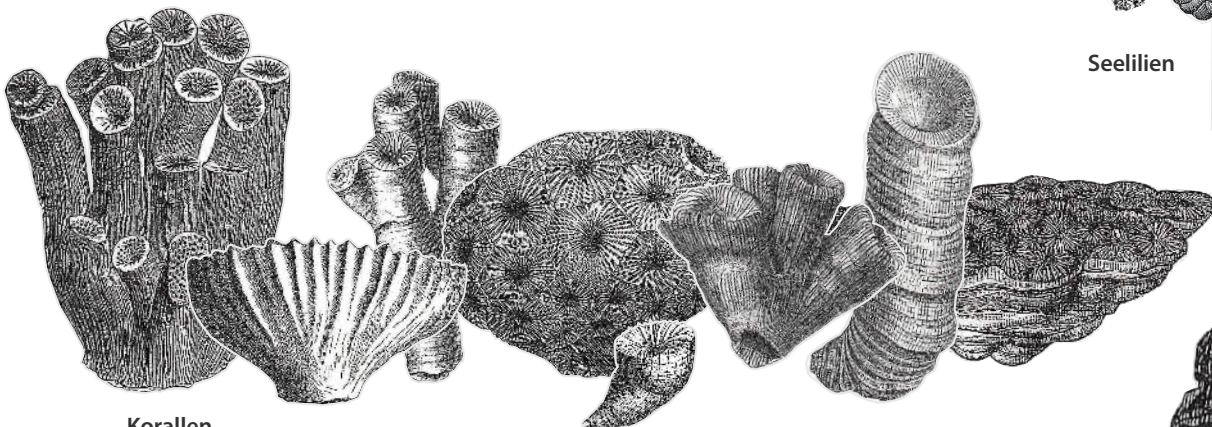
Trilobiten †



Hai-Zähne



Seelilien



Korallen

Abb. 4: Vielfalt der tierischen fossilen Organismen im Meer II (Zeichnungen in historischen Lehrbüchern aus dem 19. und frühen 20. Jahrhundert). „†“ bedeutet, dass die Organismengruppe als ganzes ausgestorben ist.

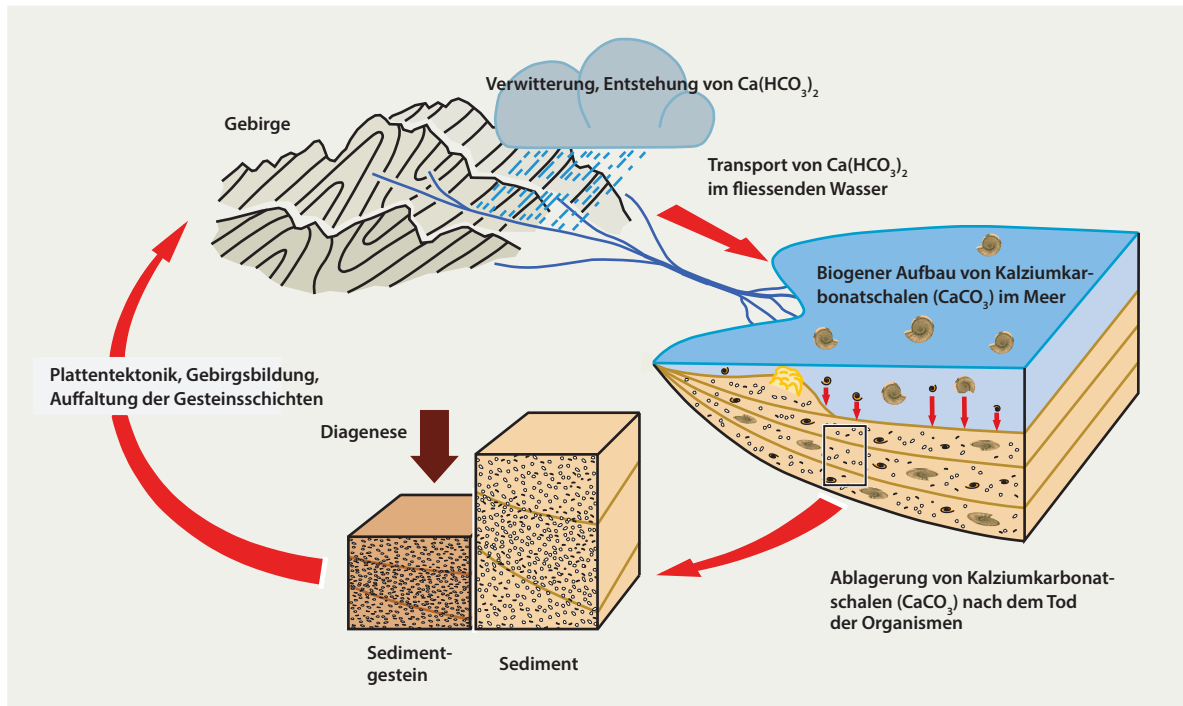
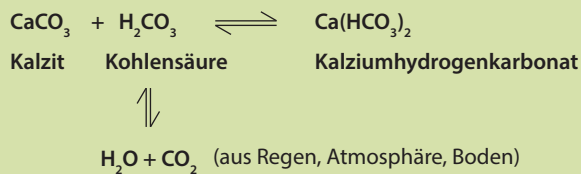


Abb. 5: Kalzium-Kreislauf.

bonat ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$). Dieses ist wasserlöslich und wird in großen Mengen in Seen und Meere gespült (Abb. 5).

Kohlensäureverwitterung von Kalzit:



Schalenbildende Organismen haben die Fähigkeit, aus Ca^{2+} und Karbonat (CO_3^{2-}) – also Bestandteilen des Kalziumhydrogenkarbonats – durch komplexe biochemische Prozesse Hartteile aus Kalziumkarbonat (CaCO_3) zu bilden. Diese Schalen oder Skelette werden nach dem Tod der Organismen wiederum Bestandteil der Sedimentgesteine, wodurch ein Kreislauf in Gang kommt (Abb. 5).

Fische verwesen nach ihrem Tod sehr schnell durch Abbau in sauerstoffreichem Wasser. In sauerstoffarmem Wasser hingegen können Fische mitsamt ihren Schuppen im Sediment konserviert werden, weil der Verwesungsprozess unter sauerstoffarmen Bedingungen stark verlangsamt ist. Schichten mit fossilen Fischen weisen deshalb entweder auf anaerobe Ablagerungsbedingungen hin, unter welchen kaum noch Sauerstoff atmende Lebewesen existieren konnten, oder auf sehr schnelle Überdeckung durch eine Sedimentschicht nach deren Tod (Abb. 6).

Viele einzellige, planktonisch lebende Mikroorganismen besitzen Schalen aus Kalzit oder aus Opal (siehe Kap. 5, Abb. 7). Opal hat dieselbe chemische Zusammensetzung wie Quarz (SiO_2), ist jedoch amorph.



Abb. 6: Fossil eines Fisches (ca. 42 Mio. J. alt).

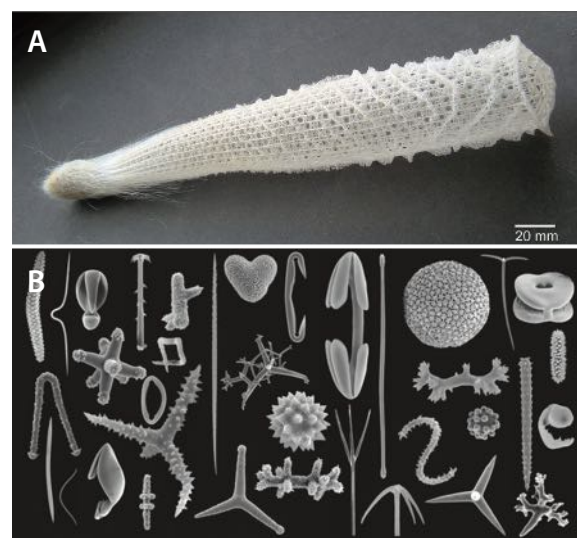


Abb. 7 A: Aussengerüst eines Schwammes aus Opal.

Abb. 7 B: Mikroskopisch kleine Teilchen aus Opal (μm bis mm), welche die Weichteile von Schwämmen stabilisieren.

Die meisten Schwämme verfügen über ein Gerüst aus Kalzit oder Opal, das ihre Weichteile stützt (Abb. 7A). Manche Schwämme werden auch durch mikroskopisch kleine Teilchen aus Opal mit sehr vielfältigen, oft nadeligen Formen gestützt (Abb. 7B). Solche Opalgerüste und -teilchen reichern sich nach dem Tod der Schwämme im Sediment an und sind mit grosser Wahrscheinlichkeit das Ausgangsmaterial zur Entstehung von Feuerstein.

Nur wenige Landorganismen besitzen Schalen wie z. B. die Schnecken. Die meisten Tiere auf dem Land werden durch ein Innenskelett gestützt oder sie verfügen wie viele Insekten über Panzer aus Chitin (Eiweissverbindung). Die Weichteile von Landtieren, auch die Chitinpanzer von Insekten, werden nach deren Tod in der Regel sehr schnell durch Frass, Pilze und Bakterien zersetzt. Grössere Tiere werden oft von Aasfressern zerrissen, ihre Glieder können dadurch über weite Flächen verstreut werden. Auf dem Land gibt es keine konstante Sedimentation wie in stehenden Gewässern. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein toter Organismus schnell genug von einer Sedimentschicht überdeckt wird, die ihn vor Frass oder Verwesung schützt, ist deshalb sehr gering. Grössere Tiere bleiben am ehesten erhalten, wenn sie z. B. in Sümpfen und Mooren versinken oder von Schlammlawinen erfasst und zugedeckt werden.

Pflanzenteile können unter sauerstoffarmen Bedingungen und unter erhöhtem Druck und Temperatur in Kohle umgewandelt werden. Bei diesem Prozess – **Inkohlung** genannt – wird reiner mineralischer Kohlenstoff angereichert, Sauerstoff und Wasserstoff gehen in Form von H_2O , CO_2 und CH_4 (Methangas) verloren. Fossile Blätter oder Stängel sind deshalb oft braun oder schwarz (Abb. 8).

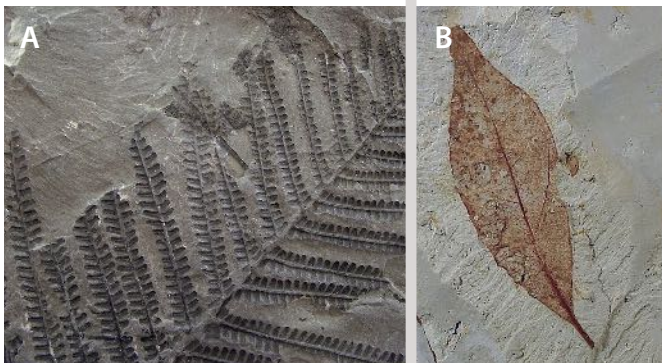


Abb. 8 A: Fossiles Farnblatt (ca. 300 Mio. J. alt).

Abb. 8 B: Fossiles Lorbeerblatt (ca. 15 Mio. J. alt).

Wird Holz in tonigen Sedimenten eingelagert, kann es viele Millionen Jahre unverändert überdauern, ohne mit seiner Umgebung chemisch zu reagieren. Wird es jedoch in ein sandiges Sediment eingebettet, kann das SiO_2 aus den Sandkörnern die organische Substanz ersetzen und die Baumstämme wandeln sich in amorphen Quarz (Caledon, SiO_2) um, oft in Form von sehr farbenreichem Achat (Abb. 9).

Leicht zerbrechliche und/oder kleine Fossilien (z. B. Insekten, Federn, Blütenpollen, Sporen) bleiben nur unter be-

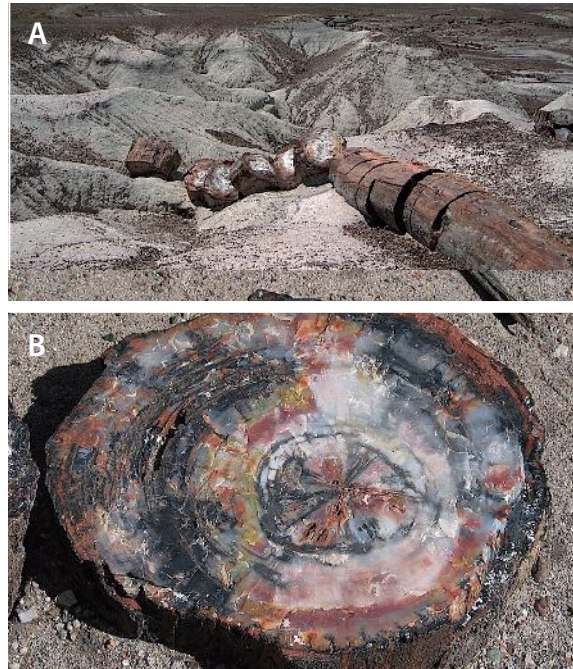


Abb. 9 A: Fossiler Baumstamm (215 Mio. J.).

Abb. 9 B: Querschnitt durch einen fossilen Baumstamm (215 Mio. J.).

stimmten, selten vorkommenden Bedingungen erhalten wie z. B. in sehr feinem Sediment, in Harz (Bernstein, Abb. 10) und unter Luft- und Wasserabschluss. Organismen ohne Hartteile wie z. B. Würmer oder Quallen verwesen in der Regel vollständig. In sehr feinen Sedimenten können jedoch Abdrücke davon erhalten bleiben (Abb. 11). Als Fossilien im weiteren Sinn gelten auch Kriech-, Fuss- und Frassspuren sowie Grabgänge (Abb. 12).



Abb. 10: Bernstein mit eingeschlossener Fliege (ca. 40 Mio. J. alt), rechts: Vergrößerung der Fliege.

In kalten Regionen wie Hochgebirgen oder hohen Breitengraden, deren Permafrostböden im Sommer nur oberflächlich auftauen, können glückliche Umstände dazu führen, dass komplette Körper mumifiziert werden, dass ihnen also das Wasser entzogen wird und sie austrocknen.



Abb. 11: Abdrücke von Organismen der 'Ediacara-Fauna', die keine Hartteile besaßen (ca. 560 Mio. Jahre alt).

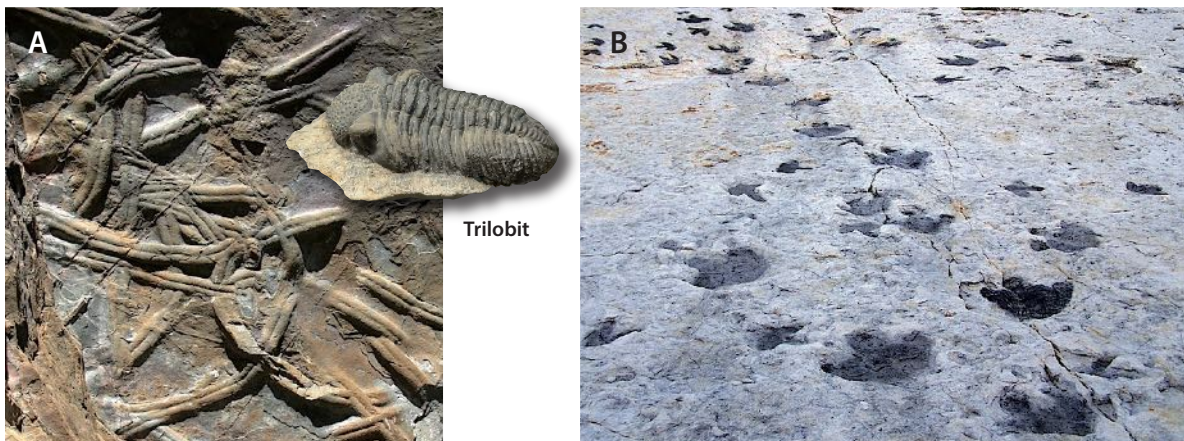


Abb. 12A: Kriechspuren, vermutlich von Trilobiten (ca. 360 Mio. J. alt); Abb. 12B: Saurierfährten (ca. 90 Mio. J. alt).

Wenn die Böden wie in Mooren sauerstoffarm und sauer sind, wird dieser Prozess zusätzlich begünstigt. Bleiben die Mumien im Permafrostboden oder Gletschereis eingeschlossen, können sie auf diese Weise während mehrerer zehntausend Jahre bis heute erhalten bleiben. Prominente Beispiele sind Mammutfunde in Sibirien (Abb. 13) oder die über 5'000 Jahre alte Gletschermumie „Ötzi“ eines jungsteinzeitlichen Mannes, die 1991 in den Ötztaler Alpen (Südtirol) auf ca. 3200 m. ü. M. gefunden wurde.

Die ältesten Fossilien sind 3.5 Milliarden Jahre alte Bakterienmatten, dies sind allerdings äusserst seltene Funde. Erst ab ca. 540 Millionen Jahren vor heute begannen sich

Organismen mit erhaltungsfähigen Hartteilen auszubreiten, wodurch die Vielfalt und Menge von Fossilien rapide zunahm. Der Übergang vom Fossil zu den erdzeitlich gesehen jungen Mumien ist fließend.

2. Bedeutung von Fossilien

2.1 Festlegung von Erdzeiten

Für die Rekonstruktion der Erdgeschichte sind Fossilien von grosser Bedeutung. Die Zeit seit der Entstehung der Erde bis heute wird durch die Wissenschaft in Abschnitte, sogenannte Erdzeiten eingeteilt. Einige dieser Erdzeiten sind durch das erste Auftreten bzw. das Aussterben von Organismengruppen definiert. Auch globale Massenaussterben (deren Ursachen bisher nicht mit Sicherheit geklärt sind) markieren Grenzen von Erdzeiten.

2.2 Altersbestimmung von Sedimentgesteinen

Nach vielen Jahrzehnten weltweiter Erforschung der Fossilien ist für die meisten von ihnen bekannt, wann sie im Lauf der Evolution zum ersten Mal auftraten und ob bzw. wann sie wieder verschwanden. So weiss man heute mit grosser Genauigkeit, welche Organismen in welchen Erdzeiten existierten. Mithilfe von Leitfossilien, die einige besondere Eigenschaften aufweisen müssen, ist es dadurch möglich, Sedimentgesteine unbekannten Alters einer Erdzeit zuzuweisen.



Abb. 13: Mumifiziertes Mammutbaby (ca. 37'000 J. alt).

Eigenschaften eines Leitfossils:

- Der Organismus darf nur während eines kurzen Zeitabschnittes ("ein paar" Mio. Jahre) existiert haben,
- er muss in möglichst unterschiedlichen Lebensräumen existiert haben, darf also kein Lebensraumspezialist gewesen sein (damit sind Vergleiche über verschiedene Lebensräume möglich),
- er muss geographisch weit verbreitet gewesen sein, sodass auch weit entfernte Schichten miteinander verglichen werden können (möglichst weiträumige Vergleiche, am besten weltweit),
- das Fossil muss leicht und eindeutig bestimmbar sein und
- es muss in hoher Anzahl vorkommen.

Anfang und Ende der Erdzeiten sind heute auf wenige 100'000 bis Millionen Jahre genau bekannt. Dies ist das Verdienst der **Geochronologie**, die sich u. a. die Zerfallszeit einiger häufiger radioaktiver Atome zunutze macht, um Gesteine zu datieren. Über diesen indirekten Weg wissen wir auch, in welchen Zeitspannen die meisten fossilen Organismen gelebt haben (siehe Modul 3).

2.3 Evolution

Fossilien liefern Hinweise wann und wo ein Organismus zum ersten Mal auftrat. Vergleiche des Baus von Fossilien aus älteren Sedimentschichten mit verwandten Fossilien aus jüngeren Sedimentschichten oder sogar rezenten

(heutigen) Verwandten erlauben eine Rekonstruktion der Entwicklung der Lebewesen. Sie liefern dadurch wichtige Hinweise auf die Mechanismen der Evolution.

2.4 Rekonstruktion früherer Lebensräume und Klimata

Die Geologie möchte wissen, wie die Erde früher ausgesehen hat und welche Klimata herrschten. Dazu liefern Fossilien wichtige Informationen. Viele Fossilien haben rezente Verwandte, deren Lebensweisen und Lebensräume bekannt sind. Oft gelingt es auch, aus dem Bau von Fossilien auf ihre Lebensweise und ihren Lebensraum zu schliessen (Abb. 14 A).

Für die Rekonstruktion von Lebensräumen ist es zum Beispiel wichtig zu wissen, ob ein Lebewesen in flachem oder tiefem Wasser lebte und bei welchen Wassertemperaturen, Wellenstärken und Salzkonzentrationen es leben konnte. Dadurch lässt sich auch das Klima für bestimmte Regionen während bestimmter geologischer Zeitabschnitte abschätzen.

2.5 Paläogeografische Karten

Die Rekonstruktion von Lebensräumen trägt zum Verständnis der grossräumigen Anordnung von Landmassen, Lagunen, Flachmeeren, Riffen, Tiefsee und Süsswasserseen während bestimmter geologischer Zeitabschnitte bei. Diese werden auf sogenannten paläogeografischen Karten festgehalten (Abb. 14 B). Natürlich sind diese Karten bloss hypothetischer Art und sehr ungenau.

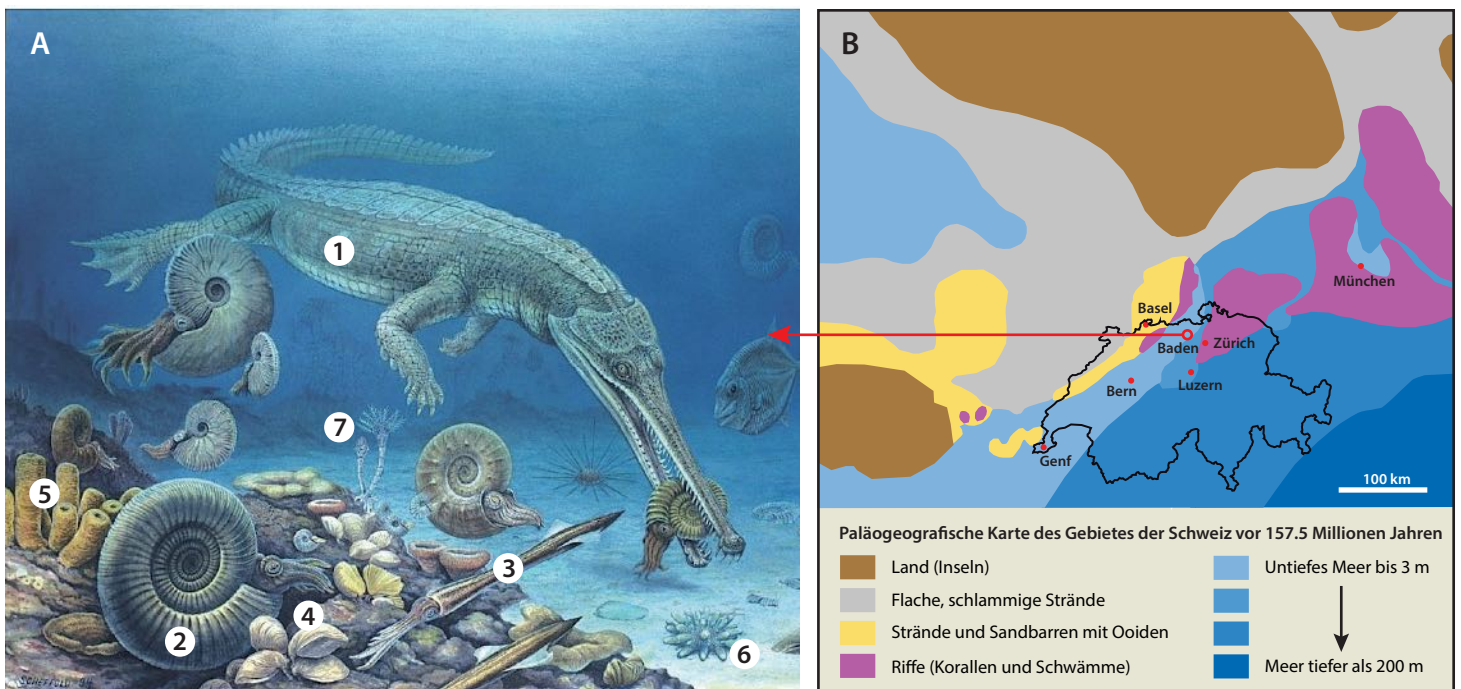


Abb. 14 A: Illustration des Lebens im flachen Meer bei Baden vor ca. 155 Mio. Jahren. Gezeichnet von Beat Scheffold anhand von Fossilfunden. 1: Stenosaurus (Meereskrokodil), 2: Ammonit, 3: Belemnit, 4: Brachiopoden, 5: Schwämme, 6: Seeigel, 7: Seelilie.

Abb. 14 B: Paläogeografische Karte des Gebietes der Schweiz vor 157.5 Millionen Jahren. Das Klima war damals in der Nordschweiz subtropisch bis tropisch.