

Weiteres Teilskript zur Riffvorlesung Leinfelder: **Überblick über die Riffentwicklung durch die Erdgeschichte (in Stichworten):**

(bitte verwenden Sie hierzu auch die ausgeteilten Abbildungsblätter und ergänzen an der Tafel gemachte Skizzen). Die in der Vorlesung gezeigten Dias finden Sie auch im online-Riffkurs.

GENERELLES:

Erste Riffe:

Riffe etwa seit es feste Erde gibt; *erste Stromatolithen* 3.5 - 3.8 Milliarden Jahre z.B. North Pole, Australia (keine Bakterienfilamente erhalten, Schluss aufgrund laminiertes domartiger Form).

Gebänderte Eisenerze Sonderfall: vermutlich durch Eisenbakterien gebildet (bei extrem geringen Sauerstoffgehalten, die zur anorganischen Oxidation von Eisen nicht genügt hätten Fe-Bakterien verwenden minimale O₂-Konzentrationen zur Energiegewinnung (-> Fe-Hydroxide). Schwerpunkt vor 2.5 Mrd a.

Proterozoikum: v.a. um 2.0 sehr häufig, auch jünger: Zeit der Stromatolithen: v.a. Cyanobakterien (siehe unten).

Komplexitätszunahme der Riffe:

Modul-Konzept: vgl. Abbildung Beiblatt;

Zunehmende Komplexitätserhöhung von Riffsystemen durch die Erdgeschichte. Antreibende Kräfte vermutlich:

- Erwerb von Nahrung (-> Höhenwachstum incl. Sedimentbaffling-Strategien, Verbesserung von Filterleistung, Photosymbiose)
- Entgiftung (-> Kalkskelettbildung gegen Ca-Überschuss, Photosymbiose gegen Phosphatüberschuss)
- Schutz vor Feinden (-> Spiculae, toxische Substanzen, Kalkskelette)

Insgesamt wird durch die Komplexitätszunahme eine *Optimierung eines zuvor limitierenden Faktors erreicht. Dadurch entsteht jedoch ein neuer Stressfaktor, der ebenfalls wieder durch Adaption gelöst werden muss:*

- *Heterotrophe Bakterien* : Limitierung Verfügbarkeit organischer Moleküle ->
- *Cyanobakterien*: neue Limitierung: Sedimentanfall durch hohe Produktivität ->
- *Weich- und Kieselschwämme*: neue Limitierung: evtl. Fressdruck, Ca+-Vergiftung -> enzymatische Verkalkung: neue Limitierung: Nahrungsverfügbarkeit ->
- *Photosymbiose*: neue Limitierung: Sedimentanfall (wegen hoher Produktivität), Wasserenergie ->
- *Inkrustierende koralline Rotalgen*: neue Limitierung: Temperaturspitzen im Flachwasser?

Dadurch wesentliche Entwicklungsschritte erklärbar; ebenfalls erklärbar, dass Riffe während der Erdgeschichte in unterschiedlichen Milieus wuchsen (bei generellem Einnischungstrend der komplexesten Riffe Richtung starker Oligotrophie)

Gildenkonzept:

Ein Riff stellt ein *Gleichgewichtsstadium* zwischen Riffaufbau und Abbau dar, und benötigt zusätzlich Riffbinder sowie Riffbesiedler für vielfältigste Regulationsaufgaben. Die Gleichgewichte sowie Bedeutung der Gilden für die jeweiligen Riffe sind aber je nach evolutivem Entwicklungsstand unterschiedlich (so waren während des Paläozoikums etwa deutlich weniger bioerodierende Organismen vorhanden als während des Mesozoikums; während des Känozoikums gab es eine weitere Zunahme (z.B. Papageifische).

Riff-Fenster-Konzept:

Je nach vorhandenen Rifforganismen und generellem modularen Komplexitätsgrad (siehe oben) können Riffsysteme in der Erdgeschichte stark unterschiedliche Toleranzen haben („*Riff-Fenster*“, vgl. Beiblätter). Eine Rolle hierbei spielen insbesondere:

- Potentiell verfügbare Rifforganismen (und ihre ökologischen Toleranzen)
- Entwicklungsstand der einzelnen Rifforganismengruppen (z.B. Wachstumsraten bei Korallen, Fehlen, Vorhandensein bzw. Effizienz der Photosymbiosebeziehung)
- Meeresspiegel, Klima, plattentektonische Konstellation

Aussterbeereignisse (vgl. Beiblätter):

- Gerade auch bei Riffsystemen gab es häufige, auch globale Aussterbeereignisse. Diese sind jedoch nicht immer mit anderen Großaussterbeereignissen korrelierbar (z.B. Kreide/Tertiär-Grenze). Umgekehrt betreffen manche Ereignisse überwiegend Riffsysteme (z.B. Trias/Jura).
- Die Ursachen sind im einzelnen nicht grundsätzlich klar. Klimatische Kontrolle scheint häufig jedoch die Hauptursache darzustellen. Hierzu gehören sowohl Abkühlungen (Oberordoviz, Perm-/Trias, Pleistozän) als auch Häufungen von Temperaturspitzen bzw. „Umkippen“ der Meere und assoziierter Sauerstoffmangel (Intra-Oberdevon?, Perm/Trias, Rezent?).
- Nach Riffkrisen werden komplexe Riffe häufig durch weniger komplexe Riffe ersetzt (z.B. Oberst-Devon- und Karbonriffe), manchmal scheint es auch absolute Riffücken zu geben (z.B. untere Trias, unterster Jura).
- Hochkomplexe Riffe, wie z.B. Flachwasser-Korallenriffe können extrem lange Recovery-Zeiten haben. Nach dem Verschwinden der Stromatoporen-Korallenriffe des Paläozoikums an der Frasn-Famenne-Grenze dauerte es bis in die obere Trias (ca. 140 Mio a), bis wieder tropisch-subtropische Flachwasserkorallenriffe vorhanden waren. Nach dem Aussterbeereignis an der Trias/Jura-Wende gab es wiederum eine Korallenriffücke von mehreren Millionen Jahren.

RIFFE DES PRÄKAMBRIUMS

Erste Stromatolithriffe sowie Fe-Bakterienriffe siehe oben.

Proterozoische Stromatolithe

- Weit verbreitet, da konkurrenzlos
- Z.T. in echter Schelfkantenposition, meist eher im Inneren von Plattformbereichen (s. Beiblatt)
- Verschiedenste Formen, hierbei zwei Schulen:
 - Formen genetisch fixiert -> für Biostratigraphie brauchbar (deshalb auch mit biologischen Namen belegt): z.B. Collenia, Conophyton, Irregularia etc.
 - rein ökologisch bedingt -> Beschreibung der Wuchsformen: z.B. LLH (Laterally linked hemispheroids), SH (stacked hemispheroids), SS (stacked spheres), oder Kombination davon (vgl. Tafelanschrieb)
 - Am wahrscheinlichsten: bestimmte genetische definierte Grundtypen bzw. Assoziationen mit ökologischen Variationen (Wasserenergie, Sedimentationsrate, Durchlichtung, Karbonatgehalt etc.)
- Teilweise auch diskrete Mikroorganismen mit organischen (Huroniospera, Gunflintina) oder hämatitischen Wänden (Frutexiten)
- Z.T. bis 40 m hohe Formen (z.B. Namibia: Stromatolith-Thrombolith-Komplex).

„Para“ und -Metazoen-Rifforganismen im Präkambrium

Wahrscheinlich erst ab bestimmtem Sauerstoff-Level möglich (spätes Neoproterozoikum):

- Cloudina-Mikroben-Riffe: wohl Suspensionsfilterer; röhrenförmig, evtl. Wurmröhre, Schwamm oder Einzelkoralle??; weltweit. (550 – 542 Mio a).
- Weichschwämme in Ediacara-Fauna (mit Biomarkern nachgewiesen), Schwammspiculae ab 570 Mio, Hexactinelliden etwas später

KAMBRIUM

Weite Schelfbereiche verfügbar, viele davon im tropischen Bereich (vgl. Historische Geologie)

Mikrobialithe (=Mikrobolithe): Stromatolithe weiterhin stark vertreten, vermehrt nun auch Thrombolithe. Zusätzlich nun mit sehr stark entwickelten verkalkenden ?Cyanobakterien („Calcimikroben“) wie z.B. Epiphyton, Renalcis

Stromatactis-Riffe: im tieferen Wasser (bis ca. 60 m?): Mudmound-Typ mit laminaren, zementverfüllten Hohlräumen, welche auf rasche Zementation hinweisen. Während des gesamten Paläozoikums verbreitet, z.T. auch noch im Mesozoikum.

Archaeocyathiden-Riffe: Erste komplexere Metazoen-Mikroben-Riffe der Erdgeschichte. Ab Basis Tommotium (530 Mio): Ende Unterkambrium (bis auf wenige Formen) ausgestorben; vgl. Abbildung Wood und weitere Abbildungen)

- Meist sehr kleine Hügelstrukturen: frühe Formen nur wenige Dezimeter Durchmesser; ansonsten meist bis 2 m hoch, bis 30 m breit (Ausnahmen bis 30 m dick, jedoch übereinandergestapelte Biostrome).
- Tropisch und subtropisch, weltweit: z.B. Südspanien, Sardinien, Marokko, Frankreich, Nordamerika, Australien, Antarktis, Sibirien
- Archaeocyathiden: solitär bis kolonial, meist festgeheftet. Entweder eigener Stamm (wäre dann der einzige, der ausgestorben ist) oder zu Schwämmen gestellt. Relativ schwammähnlich, vgl. Beiblatt.
- „Riffe“ sind v.a. Rasen, Biostrome, selten Bioherme, auch isolierte Archaeocyathiden häufig. Gerüstbildung durch Mikroben; Calcimikroben dominieren stark
- v.a. rein karbonatisch, z.T. auch in terrigen beeinflussten Milieus.
- Aussterbeereignisse: älter: Black Shales (Sinsk Event), unklar ob global; jünger: Regression (Hawke Bay-Event).

Kieselschwamm-Riffe (ab Mittelkambrium): aus lithistiden Demospongiern, verwachsen mit mikrobiellen Thrombolithen, z.T. auch Stromatolithen; teilweise auch mit Eocrinoiden (vgl. Abbildung Wood)

ORDOVIZIUM, SILUR

Hoher Meeresspiegel, viele Kontinentalmeere, aber auch kaledonische Gebirgsbildung (lässt etliche Kontinentalränder verschwinden, Schließung des Iapetus). Mittelordovizium: starke Radiation der Rifforganismen, Bryozoen gewinnen an Bedeutung. Calcimikroben werden zurückgedrängt. Riffe v.a. in Nordamerika und Nordeuropa. Häufig kleine, gut gebundene Riffe mit starkem Relief, z.T. vertikal zониert, viele verschiedene Rifftypen (vgl. Beiblätter),

Rifftypen:

- **Bryozoen –(-Tabulaten)-Riffe** (v.a. Mittelordoviz, auch Silur); auch mit Schwämmen? (sog. Receptaculiden), Crinoiden. Selten Flachwasser (dann mit Tabulaten bzw. im Silur auch Rugosa), meist tieferes Wasser (dann ohne Korallen).
- **Kieselschwamm-Crinoiden-Bryozoenriffe:** meist reich an Mikrobolithen, mit Girvanella, Renalcis und Epiphyton
- **Stromatoporen-Solenoporen-Kieselschwamm-Riffe** (Mittelordoviz): bis 10 m Höhe und 150 Meter Durchmesser; - 3 m große Stromatoporen. Nur Mittelordoviz im Flachwasser; Vorläufer der ersten Korallenriffe
- **Korallen-Stromatoporen-Riffe** (koloniale Rugosa – Tabulata - Stromatoporen) erstmals Oberordoviz als Fleckenriffe mit noch weniger Stromatoporen und vielen „Algen“ (z.B. Wetheredella), evtl. als „Bryozoen-Verdränger“, Brachiopoden, Crinoiden, Solenoporen etc. Besonders ab Silur wichtig. Oft mit Mikrobialiten. Viele verschiedene Typen. Standardbeispiel Gotland-Riffe. Je nach Wassertiefe und Sedimentanfall unterschiedliche Typen, Unterschiede in Geometrie, Fauna und Diversität (vgl. Beiblatt)
 - Axelsro Typ (= oberer Visby-Typ): kleine knollige Riffe (-5 m) in mergeliger Matrix, v.a. Tabulata (Favosites, Heliolites), ein bisschen Stromatoporen und Crinoiden, keine Kalkalgen (unter phot. Zone?), niederenergetisch, geringe Diversität.

- Hoburgen-Typ: häufigster Typ. Größer, oft höher als breit, häufig lateral zusammenwachsend. Hochdivers, Dominanz domartiger Stromatoporen + Tabulata, Rugosa, Bryozoen, Brachiopoden, Solenoporen (Kalkrotalgen), meist auf Bioklastkalken (Crinoiden) entwickelt. In photischer Zone, mäßige Wasserenergie, gute Lebensbedingungen
 - Kuppen-Typ: reine Stromatoporenbiostrome, viele unterschiedliche Strom-Morphotypen (plattig, flache Dome, säulig, globulär), mäßige Diversität der Stromatoporen (+/- Bryozoen, Rugosa, Brachiopoden). Flacheres Milieu als oben.
 - Holmhällar-Typ: sehr große Biostrome (- 800 m breit), nur inkrustierende Stromatoporen, niederdivers, laminiert, kalkige Matrik. Angepasst an hohe Wasserenergie, sehr flach.
- **Weitere Rifftypen:**
 - Stromatolithe/Thrombolithe, nun v.a. in restrikeren Milieus
 - Stromatactis Mounds, im tieferen Wasser, weit verbreitet, auch oft mit stromatoporenreichen Lagen; auch mit lithistiden Schwämmen und Cyanobakterien
 - Stromatolithische Kalkschwamm-Riffe (Sphinctozoen)
 - Hydrothermal Vent-Mounds mit inartikulaten Brachiopoden, Mollusken und Polychaeten.

Oberordoviz: Sahara-Vereisung; 70% aller bis dato vorhandenen Korallengattungen starben aus, dennoch relativ schnelle Recovery. Zusätzlich danach rasche Transgression: euxinische Verhältnisse auf mittlerem und äußeren Schelfarealen

DEVON

Entwicklung teilweise großer, zonierter Riffkomplexe (Vorriff-, Riff-, Rückriff etc.), aber nur eingeschränkt mit modernen Riffen vergleichbar. Vor allen in Zentral- und Südwesteuropa weit verbreitet, auch Nordamerika, Australien, Nordafrika. Katastrophales Riffsterben an Wende Frasn/Famenne (mehrere Ereignisse, z.T. schon intra Frasn): teilweise weltweite Schwarzschiefer bzw. bituminöse Kalke -> Stagnation der Meere.

Im Oberdevon 57 % aller Organismengattungen ausgestorben

Erstes Aussterbeereignis bereits Grenze Givet/Frasne: Taghanic-Event.

Hauptevent Frasn/Famenne (Kellwasser-Event): Transgressionspeak, danach rascher Abfall.

Bei Rugosen alle Flachwasserformen ausgestorben, tiefwasser blieb z.T. erhalten. Tabulata ca. 80% aller Gattungen ausgestorben

Grenze Devon/Karbon: Hangenberg-Event. Msp-Tiefstand. Nochmals starke Rugosa-Dezimierung, bei Tabulata kaum Effekte.

Ursachen: Taghanic: Abkühlung??; Kellwasser: Umkippen der Meere: Anoxie, Hangenberg: Verlust von Schelfhabitaten durch Tiefstand?? Bzw. nochmals Anoxie (ebenfalls dort viele Schwarzschiefer).

Beispiel Europa (vgl. Historische Geologie):

Innere Varisziden: ab Unterdevon: Alpen, Böhmen, Amerikanisches Massiv, Kantabrisches Gebirge (z.B. Santa Lucia-Plattform, Portilla-Plattform), Pyrenäen

Externe Varisziden (=Rhenoherynikum): ab Mittel-Devon: SW-England, Ardennen, Rheinisches Schiefergebirge, Harz, Polen etc.

Rifftypen bis incl. Frasn:

- **Stromatoporen-Tabulaten-Riffe.** Haupttyp, z.T. Atolle und Barriere-Riffe, oft mit wellenbedingter Zonierung. Tiefere Vorriffbereiche mit alveolitiden Tabulaten, Stromatoporen, Rugosen; Riffkern z.T. reich an Mikrobialithen, z.T. auch lithistide Kieselschwämme. Teilweise mehrere hundert Meter Mächtigkeiten: Massenkalk im Rhein. Schiefergebirge, Canning Basin in Australien („Classic Face“). Teilweise auch vertikale Zonierung (Beiblätter)
 - Vgl. Historische Geologie und Beiblätter: Rheinisches Schiefergebirge
- **Stromatoporen-Biostrome:** oft sehr niederdivers, im flachsten Wasser, z.T. sogar mit Loferiten
- **Rugosa-Biostrome;** oft mit Anpassungen an erhöhte Sedimentationsraten und Weichsubstrate. Auch mit Stromatoporen und Tabulata sowie weiterer Fauna
- **Amphipora-Rasen:** ästige Amphipora als Indexfossil für restrikte, evtl. hypersalinare lagunäre Bedingungen. Monospezifisch.
- **Mudmounds:** spektakuläre Strukturen z.B. in Algerien, Marokko), initial auf Crinoiden und Tabulaten-Fleckenriffen. 100-200 m Wassertiefe?, oft stromatactisreich. Selten auch Flachwasser-Mudmounds mit Stromatoporen und Korallen (z.B. recif rouges in Belgien).

Rifftypen im Famenne:

- Evtl. noch Flachwasserriffe in Australien (Canning –Basin), Russland, Alberta, diese jedoch **stark mikrobendominiert**
- Ansonsten Tiefwassermounds **und Tiefwasserstromatolithriffe.**

KARBON UND PERM

Nach extremer Aussterbephase im Oberdevon (s.o.; die meisten Rugosa, Tabulata, Stromatopora ausgestorben, jedoch nicht komplett (weitere extreme Dezimierung der Stromatoporen an Devon/Karbon-Grenze).. Dezimierung verhinderte tabulaten-/stromatoporen-dominierte Riffe im Flachwasser):

Mound-Abschnitt der Erdgeschichte: Generell korallenfreie bis korallenarme, mikroben-, algen-, bryozoenreiche, teils kalkschwamm- oder crinoidenreiche Moundstrukturen vom Obersten Devon bis in die Mittlere Trias

Vereinfacht:

- *O.Trias – rezent: Korallenriffe (und weitere Rifftypen)*
- M. Trias: Mikroben-Sphinctozoenriffe
- Perm: v.a. Tubiphytes-Algen/Mikroben-Zementmounds und Bryozoenmounds
- O. Karbon: v.a. Phylloide Algen-Mounds
- U. Karbon: crinoidenreiche Schlamm-Mounds (Waulsortian-Mounds)
- Oberstes Devon: Mikrobialithe

- *Ordoviz bis Oberdevon (Frasne): Stromatoporen-Tabulaten-Riffe und andere Rifftypen*
- *Kambrium: Archaeocyathidenriffe und mikrobendominierte Riffe*
- *Präkambrium: Mikrobenriffe*

Karbon/Perm-Grenze: Starke Konvergenz der Kontinente; Pangäa-Bildung, große Klima- und Meeresspiegelschwankungen, Polvereisungen, starke Temperaturkontraste; Unterdrückung äquatorialer Strömungen. Moundbildung evtl. durch nährstoffreiche Upwelling-Wässer begünstigt, welche Suspensionsfilterer fördern (> sehr crinoidenreich v.a. im Karbon)

Rifftypen:

- **Waulsortian Mounds:** nur Unterkarbon (v.a. unteres Unterkarbon): Schlammhügel, teils mit Stromatactis, Bryozoen, bis 100 meter hoch, umgeben von Crinoiden-Grainstones, teilweise sehr tief (200-300 m?), distale Rampensysteme. Unterschiedliche Anteile an Bryozoen, Weich- und Kieselschwämmen, Mikroben; selten auch Korallen. Genese teilweise ungeklärt.
- **Bryozoen-Kieselschwamm-(-Korallen)-Riffe:** v.a. Visé: wohl eher flachwasser. Viele lokale, endemische Faunen, v.a. inkrustierende Bryozoen, lithistide Schwämme (diese nun wieder stärker im Flachwasser??), Calcimikroben (Renalcis), Mikrobialithe, einige Korallen. In N-England z.T. weite Flächen einnehmend („Riffgürtel“): Cracean Reefs.
- **Phylloide Algen-Mounds:** vgl. Beiblatt, v.a. Oberkarbon/Unterperm: Algen wohl primär aragonitisch, evtl. Rotalgen (Gymnocodiaceen-Affinität), oft „Corn Flake-Typus“, aber auch viele andere Morphologien (becherförmig, plattig); assoziiert mit Bryozoen und fusuliniden Großforaminiferen. Meist flache Hügelstrukturen.
- **Kalkschwamm-Algen-Zement-Riffe;** v.a. Perm: Typus El Capitan, New Mexico, Texas. Ähnlich auch Tunesien, China, Sizilien. Beinhalten viele Sphinctozoen, weitere Kalkschwämme (Inozoen), Rotalgen (Archaeolithoporella), Tubiphytes (Alge oder Foraminifere), Bryozoen, Rugose Korallen. Viele kryptische Bereiche, Zonierungen, oft hohe Diversität, verschiedenste Assoziationen, wohl auch viele Flachwasser-Areale.
- **Stromatolith-Bryozoen-Riffe:** Varietät von oben, v.a. im südlichen Zechsteinbecken; wegen eingeschränkter Salinität restriktiver als oben.
- **Bryozoen-Mounds:** mit Bryozoe Fenestella (v.a. Perm); ähnlich Phylloide-Algen-Mounds. Fenestella als Sedimentfänger.
- **Tiefwasserkorallenrasen:** eher selten (Karbon, Perm)
- **Richthofenienriffe:** aus korallimorphen Brachiopoden (Perm, Sizilien). Rasenförmig.

Aussterbeereignisse Ende Perm, zweifach. 83% aller Gattungen (-95 % aller Gattungen in Meeren) ausgestorben.

- a) Abkühlung, Schelf-Reduktion (letzter Vereisungsschub)
- b) Jünger: Treibhauseffekt durch Transgression/Vulkanismus (Sibirische Trappe), anoxische Events?

Andere Theorie: Impact.

Problem: Meeresspiegel an Perm/Trias-Wende sehr tief -> kaum durchgehende Profile, neuerdings jedoch in China gefunden.

TRIAS

Noch Pangäa-Zeit, jedoch wieder steigender Meeresspiegel, zunehmend Epikontinentalmeere. Wenig Orogenesen.

Untere Trias (Skyth): keine Riffe und keine Karbonatplattformen, einige fragliche Rugosa als Überlebende (wahrscheinlich jedoch nicht Vorfahren der Scleractinia, diese wohl eher aus Seeanemonen), einige wenige Stromatolith-Riffchen.

Mittlere Trias: (Anis-Ladin):

Wieder viele Karbonatplattformen, v.a. in Südtethys. Riffe in Dolomiten, Wetterstein- und Karwendelgebirge (z.B. Wetterstein-Kalk, Schlern etc.). Auch Muschelkalkmeer und vergleichbare Bildungen (Spanien, Nordafrika, Israel)

- Riffe sehr ähnlich zum Capitan-Typ des Perm: **Sphinctozoen-Bryozoen-Zementkrustenriffe** (+/- Solenoporen, Tubiphytes, sehr selten scleractine Korallen: in Europa 8-12 Arten, va. Im tieferen Wasser). bekannt). Zemente ziemlich sicher Produkte mikrobieller Aktivität („bothryoidale“ Zemente, „Sphaerocodium“)
- **Placunopsis-Riffe** im Oberen Muschelkalk: Zementierte Bivalven, austernartiges Wachstum (jedoch nicht mit Austern verwandt).

Obere Trias: Nor, Rät

- **Scleractinia-Korallenriffe**: Z.B. Dachsteinkalk, Oberrätkalk, Karpathen, Rocky Mountains, etc. (s. Beiblatt).
Starke Radiation der Korallen (nach Karn-Event; dort viele Kalkschwämme, Bryozoen, Algen sowie der Trias-Tubiphytes ausgestorben); viele Bafflestone-Strukturen, „Thecosmilia“ (=Retiophyllia u.a.). Ebenfalls viele „Spongiomorphiden“: früher als eigenständige Gruppe, heute teils zu Stromatoporen, teils zu Korallen gezählt. Auch viele Mikroproblematika (Lithocodium, Baccanella, Microtubus).
Unklar ob nur Rampen oder bereits Riff-Barrieren (z.B. Dachsteinkalkriffe, Steinplatte), vgl. Tafelaufschrieb, Beiblätter.
- Ebenfalls z.T. **Stromatolith-Riffe**

Trias-Jura-Wende: Aussterben der meisten Riffkorallen (11 von 50 Gattungen überleben)
Ursache: Starke Regression, „danach rasche Transgression incl. anoxic event??, Impact (Quebec)???, evtl. Überleben einiger Korallentaxa auf exotic Terranes.

JURA

Zerbrechen von Pangäa, viele Riftbecken, incl. marinen Riftings (-> z.B. Lusitanisches Becken von Portugal, starke Faziesdifferenzierung), Nordatlantik-Entwicklung, ab Oberjura: Tethys-Durchbruch in Atlantik, Verbindung in Pazifik (> wieder circumäquatoriale Strömung möglich). Stark steigender Meeresspiegel (> weite Schelfmeere, verbreitet Rampenkonfigurationen); Drowning der Tethys-Karbonatplattform (> Trennung zum Nordtethys-Schelf, teilweise steil begrenzte Relikt-Flachwasserplattformen). Keine Eiskappen, stark ausgeglichenes Klima (> Warmwasserriffe z.T. in hohen Breiten).

Rifftypen (Übersicht)

- a. Bivalvenriffe, Serpulidenriffe
- b. Korallenriffe (z.T. Stromatoporen-reich)
- c. Kieselschwamm-Mounds
- d. Mikrobenriffe

Zu a) Bivalvenriffe, Serpulidenriffe:

- Im Unterjura sehr verbreitet (z.T. Sinemur, v.a. Pliensbach, noch Toarc), v.a. in S-Tethys, bis westliches Süd- und Nordamerika (Hispanic Corridor): Lithotis-Riffe (Pinna-artige Muschel, diverse Gattungen aus Pteroida, z.T. auch Heterodonte (Opisoma); meist extremes Flachwasser, auch intertidal, hoher Sedimentanfall, auch terrigen. Keine Konkurrenz.
- Im Oberjura besonders viele Austernriffe (randlich marin bis ausgesüßt), auch Isognomon-Bänke, Buchia-Bänke im restrikt marinen Bereich (Ästuar, Delten, terrigen beeinflusste Lagunen). Im Vergleich zu Korallen und Schwammriffen jedoch unbedeutend.
- Serpulidenriffe: insb. Purbeck von Norddeutschland (hypersalin).

Zu b) Korallenriffe (vgl. Beiblätter, Tafelanschrieb)

- Erste Riffe Hettangium, Sinemurium (Frankreich, westl. N-Amerika -> Terran-Theorie)
- Gewisse Radiation erst im Toarcium, Hauptprovinz im Unterjura: Marokko:
- Mitteljura bereits 100 Gattungen von Scleractiniern, weite globale Verbreitung (Marokko, Frankreich, auch Chile, Madagaskar, Tibet etc.; vgl. Beiblatt)
- Oberjura: extreme Verbreitung, weltweit, v.a. Nordtethysschelf, auch hohe Paläobreiten (England, Japan, S-Argentinien) -> ausgeglichenes Klima (vgl. Beiblatt)
- **Korallenrifftypen** (v.a. Oberjura) (vgl. Tafelanschrieb und Beiblätter):
 - Korallen-Schuttriffe: v.a. schuttdominiert, keine bindenden Organismen, hohe Wasserenergie, nur kurzlebige Riffwachstum, häufige Aufarbeitung. Auch Stromatoporen manchmal häufig, z.T. (selten) auch eigenen Rifftyp formend.
 - Korallen-Mikroben-Schutt-Riffe: hochenergetisch, hohe Schuttproduktion wie oben, aber teilweise exportiert an steilen Hängen (> typische Schelf- bzw. Plattformkantenposition), hohe Mikrobenbeteiligung
 - Korallenrasen: in geschützten Bereichen, oft unter terrigenem Einfluss (erhöhte Nährstoffraten), bei leichtem terrigenem Einfluss oft höher divers als andere Riffe, ansonsten häufig niederdivers, auch in etwas tieferem Wasser (Tellerkorallen-Rasen von microsoleniden Korallen) (-> Symbiose bereits vorhanden, aber noch ineffizient)

- Korallen-Mikrobalithe: niederenergetisch, oft an versteilten Hängen, bzw. während rascher Transgressionen (= niedere Hintergrundsedimentation); im etwas tieferen Wasser auch Korallen-Kieselschwamm-Mikrobalithe. Oft hohe Diversitäten an Korallen.
- Korallen-Bivalven-Riffe: extreme Situationen, angepasste Korallen: z.B. erhöhte Nährstoffraten, ausgestüßte Verhältnisse (z.B. in England und Portugal).

Zu c) **Kieselschwamm-Mikroben-Mounds**:

- Tiefer als Korallenriffe: mit Lithistiden oder Hextactinelliden (noch tiefer)-Dominanz; typische Mud-Mounds, z.T. Stromatactis-Gefüge; v.a. auf Nordtethys-Schelf (auf homoklinalen Rampen), mit viel Kalkschlamm und mikrobiellen Krusten; unterschiedlichste Untertypen; Hauptverbreitung Oxford. Weitverbreitet z.B. auf Schwäbischer und Fränkischer Alb
- Z.T. als Kieselschwammbiostrome bei erhöhter Sedimentation (Schlammreich, z.B. Treuchtlinger Marmor) oder bei Mangersedimentation (krustenreich, z.B. Spanien).

Zu d): **Mikrobalithriffe**:

- Extrem niedrige Sedimentationsraten (z.B. Hangsituation oder rasche Transgression)
- Ausschluss anderer Organismen (z.B. Salinität, meist jedoch im Vollmarinen: dann Sauerstoffmangel als Ausschlusskriterium)
- Oft wechsellagernd mit sauerstoffversorgter Riff-Fazies (-> anzeiger für Sauerstoff-Schwankungen, v.a. im Kimmeridge verbreitet).; vgl. Beiblätter.

Generelle Aspekte:

- *Zunehmende Ausbreitung von Riffen auf Nordtethys* wegen zunehmenden Meeresspiegelanstiegs
- *Plattformkantenriffe* insbesondere in
 - Südtethys (Mi-, O. Jura): wegen zerbrochener Trias-Plattform mit steilbegrenzten Flachwasserrelikten, z.B. Plassenkalkriffe mit Barmsteinkalk-Kalkturbitiden ins Tiefwasser)
 - Osttethydischen-/pazifischen Terranen
 - Atlantischen Riftbecken (z.B. Lusitanisches Becken)
- *Warmwasserriffe bis 60° Paläobreite* (mit Kalkoolithen, Dasycladaceen, erhöhten Korallendiversitäten)
- *Bedeutende Kohlenwasserstoff-Speichergesteine* in Jurariffen (Texas, Arabische Halbinsel)
- *Hauptunterschiede zu heute*:
 - Breite Rampen -> Kieselschwamm-mounds
 - Mikrobenkrusten statt coralliner Rotalgen
 - Korallenriffe in mesotrophen und oligotrophen Situationen (Photosymbiose vorhanden > Typische Tiefenzonen, aber noch z.T. weniger effektiv: geringere Wachstumsraten, andere Verkalkungsmuster etc.).

Ende Jura: kleinere Riffkrise durch Meeresspiegelrückgang

- Verschwinden der mesotrophen Flachwasserriffe??
- Verbleib der oligotrophen Flachwasserriffe
- Ggf. Entwicklung von Tiefwasserkorallenriffen (evtl. abgewanderte Flachwasserrifforganismen)

KREIDE

Rifftypen:

- **Korallenriffe** nach wie vor vorhanden, ab Oberkreide mit vielen inkrustierenden corallinen Rotalgen (inartikulate Corallineen = Melobesien).
 - Andere Bedürfnisse als Rudistenriffe (Korallen nun eher stark oligotroph?)
 - Auch gemischte Rudisten-Korallenriffe
- V.a. während Unterkreide noch **Kieselschwamm-Mikroben-Mounds** vorhanden, dann rasch abnehmend (evtl. zu hohe Sedimentationsraten auf tieferem Schelf wegen Nanoplankton-Blüte??)
- **Rudistenriffe**
 - Rudisten-Bivalven ab Oxford (Dicerias) bis Maastricht
 - Rudistenriffe ab U. Kreide, v.a. Mittelkreide, z.T. Oberkreide
 - Z.T. eingerollte Formen (Requienien, U. Kr.; Capriniden: Cenoman – Maastricht (Blasenstruktur, schnelles Wachstum); vgl. Beiblätter
 - Viele konische Formen: Hippuritidae (Poren in Deckel, ausgeklügeltes Filersystem); Radiolitidae: Materialersparnis zur Zellenbauweise
 - Meist aufrecht, dabei meist semiinfaunal; z.T. Liegeformen, z.T. flach zementiert.
 - Verbreitung: weltweit, tropisch (siehe Beiblatt); Tethys bis Karibik bzw. bis Pazifik. Z.B. Urgon-Fazies (Barreme/Apt): Helvetikum (Schrattenkalk), Spanien, Portugal; Gosau Becken: Turon-Oberkreide
 - Lebensweise der Rudisten:
 - Z.T. sehr schnelles Wachstum (2-6 cm/a)
 - Meist oligospezifische Assoziationen -> oft opportunistisch
 - Wohl gute Filtrierer
 - Unklar, ob Photosymbiose
 - Evtl. tolerant gegenüber Hypersalinität, Nährstoffen und erhöhter Temperatur (jeweils unterschiedliche Taxa)

Mögliche Ursachen für Verteilung:

- *Hoher Meeresspiegel* -> breite Schelfmeere, *hoher Karbonatsedimentanfall* (evtl. auch durch Nanoplankton) -> viel Resedimentation. Auch *tropisch feuchtes Klima*: starke Verwitterung und terrigener Eintrag -> insg. hohe *Hintergrundsedimentationsraten*
- *Rudistenriffe* vorzugsweise:
 - In Bereichen mit *mobilem Sediment* bzw. *erhöhter Hintergrundsedimentation*
 - In randlichen Bereichen (*mesotroph, übersalzen, überhitzt*)
 - In *regional überhitzten Bereichen* („Supertethys“-Theorie für zentrale Tethys und Karibikvorläufer)
- *Korallenriffe*:
 - Z.T. *tieferes Wasser?*
 - *Oligotrophe, sedimentstabilisierte Bereiche*
- Aber auch breiter Überlappungsbereich und gemeinsames Vorkommen.

Kreide/Tertiär-Grenze:

Rudisten bereits zuvor dezimiert (1.5-3 Mio vor Grenze fast weg): Mögliche Ursache: Starkes Hin- und Her des Meeresspiegels. Aber noch schöne Maastricht- Korallenriffe direkt an K-T. 57% aller Korallengattungen ausgestorben, jedoch kaum Einbruch in genereller Weiterentwicklung (nur zeitliche Verzögerung). Durch K-T-Ereignis (Bolideneinschlag??) evtl. starker Abfall der primären Produktion -> Hungerzeit, sollte photosymbiontische Korallen nicht direkt betreffen, diese ggf. durch mangelnde Durchlichtung (Atmosphärische Verdunklung) betroffen. Insgesamt scheinen Tiefwasserformen eher überlebt zu haben.

TERTIÄR UND QUARTÄR:

- Vor allem *Tiefwasserkorallen überlebten* KT-Event
- *Karbonatplattformen und Riffe sind im Paläozän rar*. Die ersten Korallenriffe erscheinen wieder ca. 2- Jahre nach KT; hierbei spielen v.a. coralline Algen und Kalkschwämme eine Rolle; jedoch auch Korallen im Paläozän
- Ab Ende Paleozän sowie im Eozän: Sehr verbreitet *Sande aus korallinen Algen und Großforaminiferen*
- *Ab Eozän wieder gut entwickelte Korallenriffe*
- *Verstärkte Diversifizierung der Korallen ab Oligozän*
- Seit Oligozän/Miozän etwa wie heute: *coralline Rotalgen stoßen ins höchstenergetische Wasser vor*; damit auch Riffwachstum bis in hochabrasive Zonen möglich.
- *Z.T. Salinitätskrise im Miozän (Mittelmeer):*-> Porites-dominierte Korallen-Rotalgen-Mikrobolithriffe
- Wegen fallendem Meeresspiegel ab *Oberoligozän: Verteilung und Kontrollmechanismen ähnlich heute*: Küstenriffe nur, wenn Schutzfaktoren vor siliziklastischem Eintrag vorhanden sind.
- Im *Miozän* durch Eiskappenbildung (Bildung von kaltem Tiefenwasser) vermutlich verstärktes Upwelling mit beginnender Schließung der Straße von Panama in der Karibik > 50% *aller karibischen Korallengattungen ausgestorben*.
- Weitere *starke Faunendifferenzierung zwischen Pazifik und Karibik/Atlantik ab Pliozän* (endgültige Schließung der Straße von Panama); weitere Abkühlung, *begleitet von weiterem Aussterben in Karibik*
- *Pleistozäne Eiszeiten dezimieren Korallenfaunen* v.a. in Karibik/Atlantik: weniger stark abgeschirmt vor Kaltwässern als Pazifik (Himalaya-Schranke). Kompletter Umbau der Dominanzen bei den Korallen in Karibik: *Acroporen bereits seit Eozän vorhanden, erst seit Pleistozän dominant*; gleichzeitig Aussterben der zuvor dominierenden Pocilloporiden (Griffelkorallen) in Karibik sowie starker Rückgang der massigen Korallen.
- Zu biogeographischen Mustern holozäner Korallenverteilungen siehe Veron, J.E. (1995): *Corals in Space and Time. The Biogeography and Evolution of the Scleractinia.*- Ithaca and London (Comstock/Cornell).