

Die kambrische Explosion - Ursachen und Bedeutung



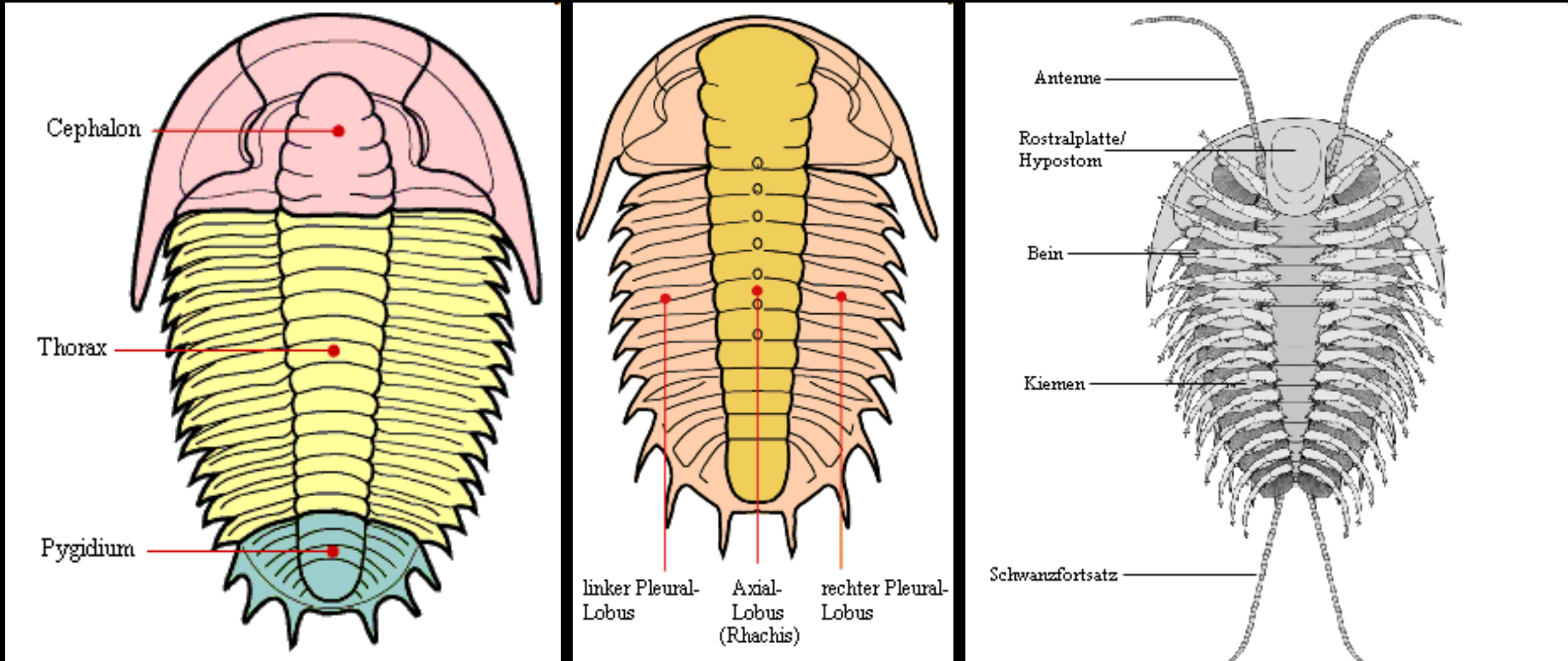






Küste bei Wales / England mit kambrischen Schichten.
Ab der Linie treten auf einmal massenhaft Trilobiten auf, darunter nur Spurenfossilien.

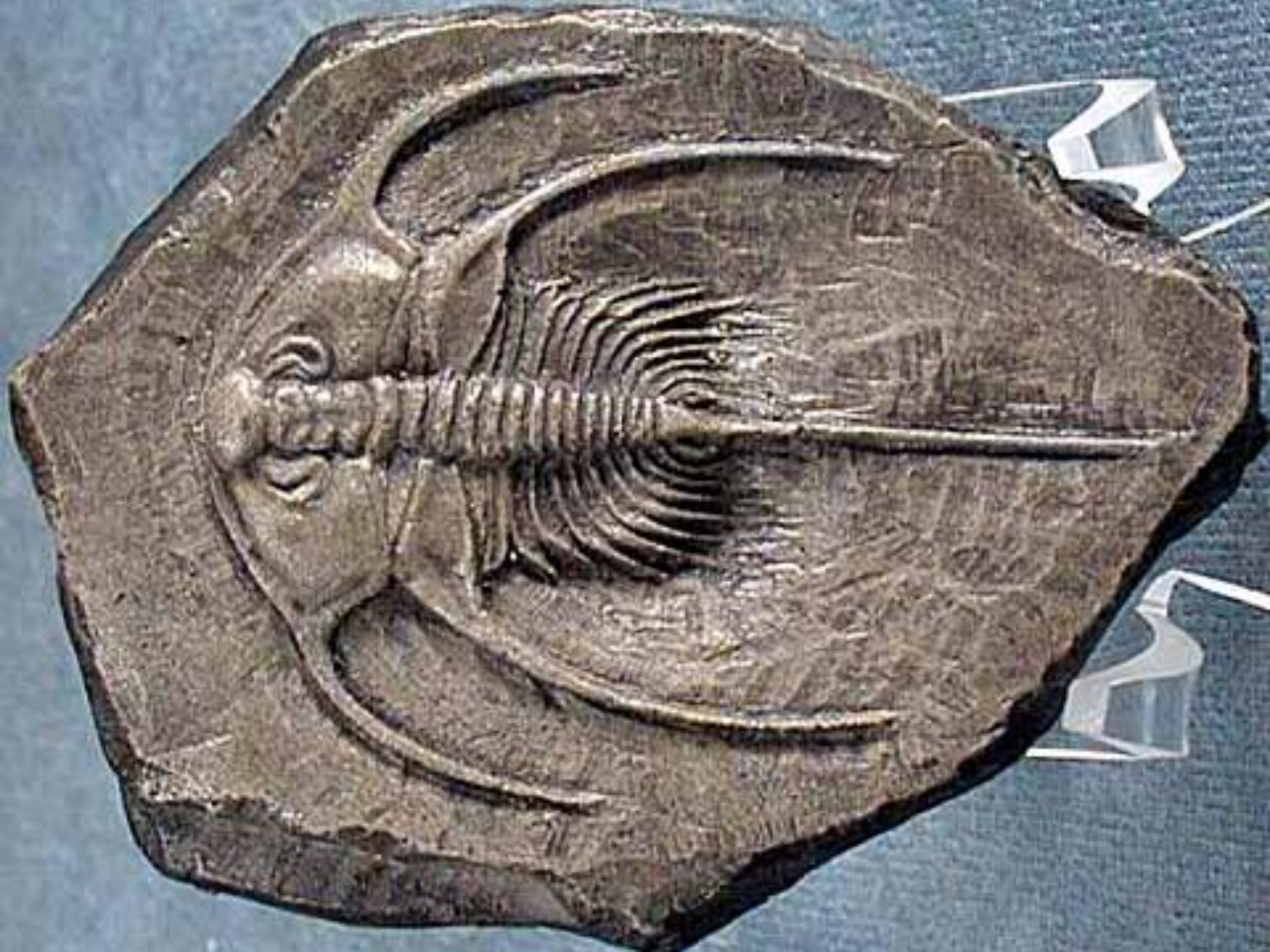
Trilobiten



Früher gab es eine einfache Regel: „kambrische“ Sedimente, wo keine Trilobiten vorhanden waren, waren „Präkambrium“. Die Schicht, wo Trilobiten als Fossilien auftauchen, kennzeichneten den Beginn des Kambriums. Heute wird der Beginn des Kambriums durch typische Spurenfossilien (Grabgänge von Würmern) festgelegt.



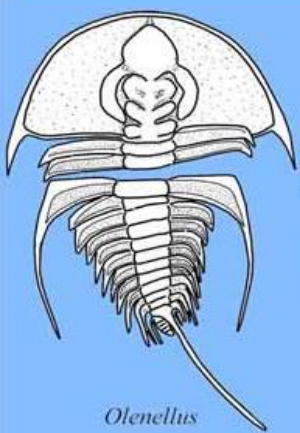




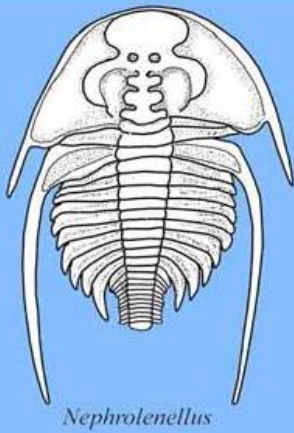




Trilobiten zeigen eine sehr große Variationsbreite (nur noch mit den Insekten vergleichbar) und eine riesige Artenzahl, welche zur Bio-datierung von paläozoischen Schichten ideal geeignet sind.



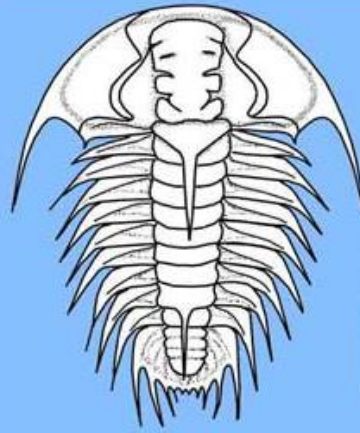
Olenellus



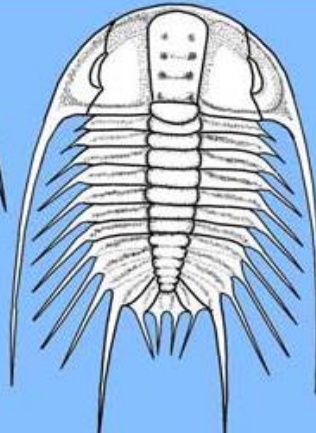
Nephrolenellus



Emuella



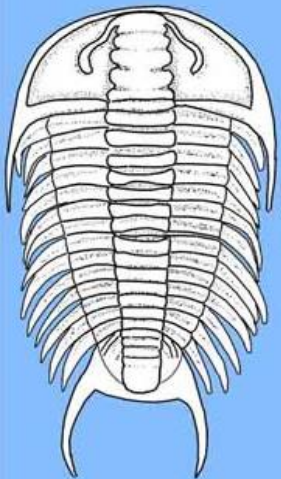
Zacanthoides



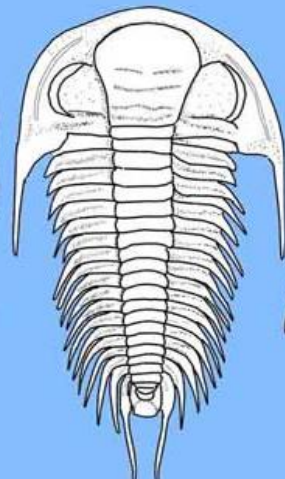
Oryctocephalus



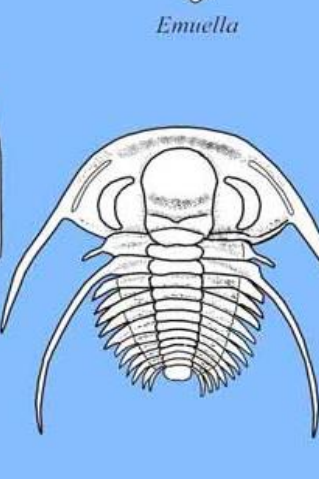
Cheilocephalus



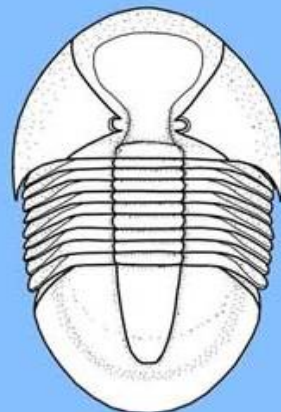
Zhangshania



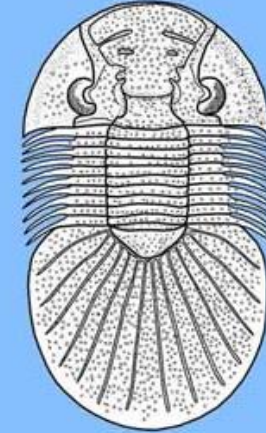
Paradoxides



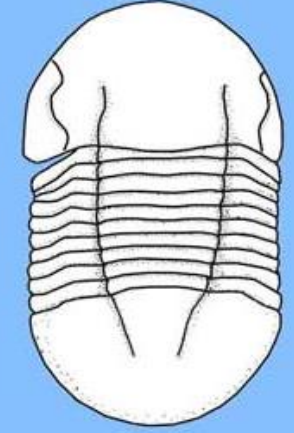
Eccaparadoxides



Stygina



Scutellum



Illaenus

Tatsachen, die zu Denken geben ...

Das Erscheinen von „makroskopischen“ Tieren mit harter Schale erfolgte erdgeschichtlich gesehen plötzlich innerhalb weniger Millionen Jahren.

Ob ihre Vorgänger – die Angehörigen der Ediacarafauna – die unmittelbaren Vorgänger der kambrischen Tierwelt sind, ist zumindest für den größeren Teil von ihnen umstritten. Es sind Vorfahren der Arthropoden (z.B. Spriggina), der Nesseltiere (Cnidaria) und der Schwämme (Porifera) auszumachen. Damit ist die Kontinuität des Lebens zumindest teilweise paläontologisch gesichert.

Damit aus prokaryontischen Einzeller komplexe Tiere wie Trilobiten mit Augen, Kiemen und Gliedmaßen entstehen konnten, benötigte die Natur einen Zeitraum von fast 3.5 Milliarden Jahren.

In dem erdgeschichtlich kurzen Zeitraum des Kambriums entstanden ca 100 Phyla, von denen heute noch ca. 20 existieren. In den 500 Millionen Jahren nach dem Kambrium sind (bis auf eine) keine Neuen hinzugekommen.

Bis zum Beginn des Mesozoikums sind 80% aller Tierstämme (Phyla) ausgestorben.

Fragen, die sich daraus ergeben ...

Kann es auf einen anderen Planeten im Kosmos höheres tierisches Leben geben ohne daß ein der „kambrischen Explosion“ vergleichbares Ereignis stattgefunden hat?

Handelt es sich bei der kambrischen Explosion um eine Folge oder eine Ursache? Könnte es sein, dass die bemerkenswerte tierische Vielfalt (Diversität) der heutigen Erde nur ein Nebenprodukt dieser plötzlichen Diversifizierung darstellt und nicht entstanden wäre, wenn das kambrische Ereignis nur ein leiser Knall anstatt einer lauten Explosion gewesen wäre?

War die schnelle Entwicklung der Tiere unausweichlich, nachdem die kambrische Explosion stattgefunden hat? Warum hat die Natur keine weiteren Baupläne erprobt?

Wichtigste Frage:

War die kambrische Explosion unvermeidlich, nachdem sich ein gewisser Grad von biologischer Organisation entwickelt hatte?

oder

Ist es denkbar, dass unter bestimmten Bedingungen (z.B. keine Totalvereisung der Erde) die kambrische Explosion gar nicht stattgefunden hätte?

Zwei Begriffe:

Biodiversität: Maß für die Artenvielfalt innerhalb eines Lebensraums oder eines geologischen Zeitabschnitts (E.O.Wilson, 1986)

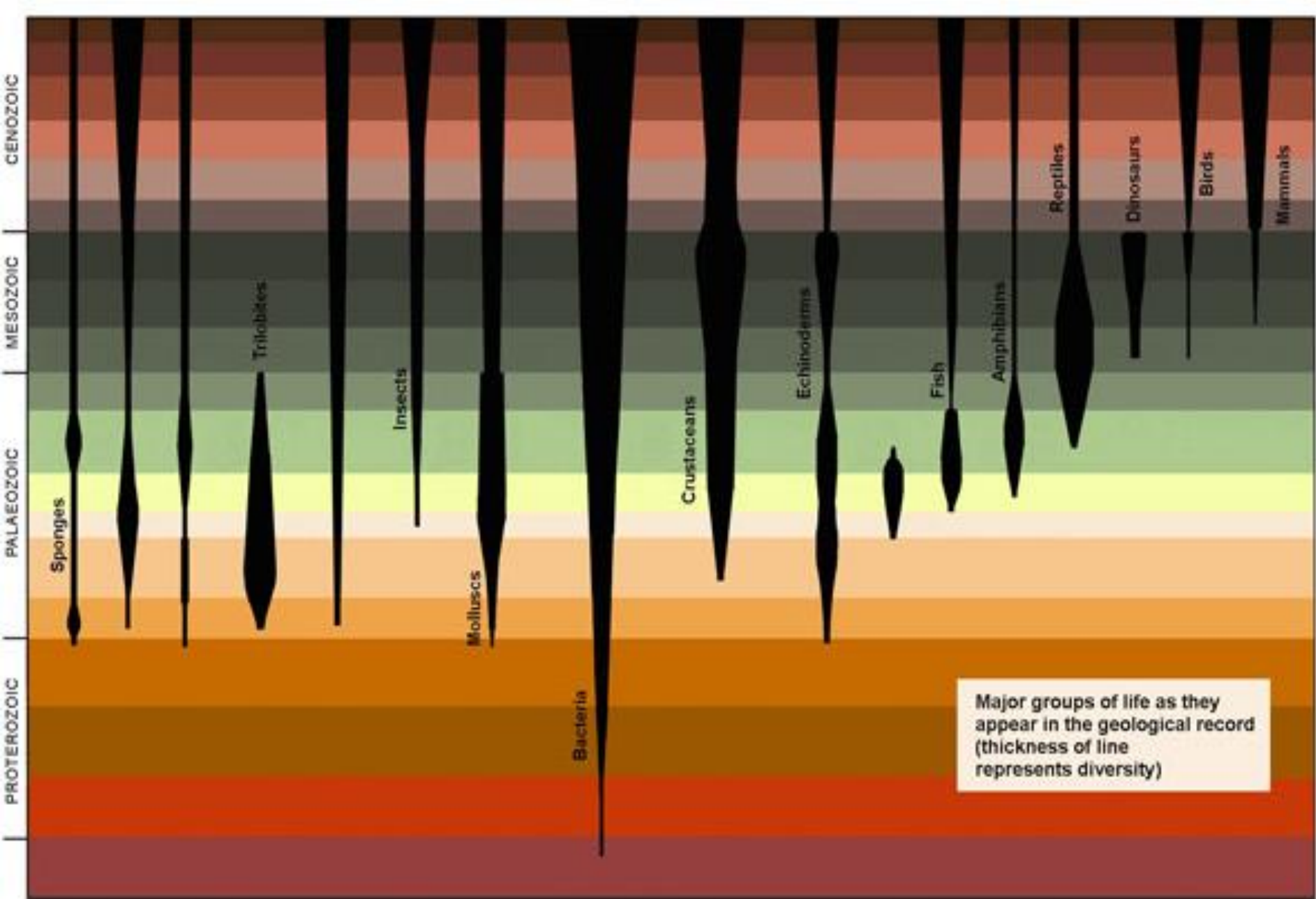
Disparität: Vielfalt der unterscheidbaren biologischen Baupläne innerhalb eines geologischen Zeitabschnitts (Stephen Jay Gould, 1990)

Kambrium: Geringe Artenvielfalt (Diversität)
Hohe Disparität der Phyla

Später ... : Steigende Artenvielfalt (unterbrochen durch Extinktionen)
Stagnierende Disparität auf im Vergleich zum Kambrium
niedrigen Niveau

„Paradoxon des frühen Lebens“

Wie konnte sich im Kambrium innerhalb einer sehr kurzen Zeitspanne eine so hohe Disparität der Körperformen entwickeln, während gleichzeitig eine entsprechende Diversität in Form der Artenzahlen fehlte?



In der Tendenz hat die Biodiversität im Laufe der Erdgeschichte zugenommen

Was löste die kambrische Explosion aus?

Dazu gibt es nur Hypothesen aber keine Gewissheiten ...

Zur Beantwortung dieser Frage werden zwei Ansatzpunkte verfolgt:

- a) hat die Entwicklung der für eine erfolgreiche Diversifizierung erforderlichen Eukaryonten-Gene so lange gedauert (ca. 3 Ga !), bis sie in der Lage waren, komplex organisiertes multizelluläres Leben zu codieren?
- b) lag es an günstigen, ganz bestimmten Umweltbedingungen, die zu einer plötzlichen (gesetzmäßigen?) Diversifizierung der Metazoen führten?
- c) gab es begünstigende biologische Ursachen?

Schlüsselfrage: War die „kambrische Explosion“ ein reiner Zufall, der nur auf der Erde stattgefunden hat oder ist eine solche plötzliche Entfaltung komplexer tierischer Lebensformen eine notwendigerweise stattfindende Folgerichtigkeit?

Umweltbedingungen

Folgende Umwelteinflüsse werden als Auslöser oder als begünstigende Faktoren für die kambrische Explosion diskutiert:

a) **Der Sauerstoffgehalt in der Atmosphäre und gelöst im Wasser überstieg eine entscheidende Grenze**

- eine bestimmte Konzentration von Sauerstoff ist notwendig, damit Tiere bestimmte Minerale auskristallisieren und damit Schalen / Skelette aufbauen können (nur Kollagene benötigen wenig Sauerstoff)

b) **Nährstoffe wurden in größerer Menge verfügbar**

- das betrifft Phosphor, Eisen sowie Nitrate
- im frühen und mittleren Proterozoikum waren diese Stoffe hauptsächlich in Tiefseesedimenten eingeschlossen, im Tiefenwasser gelöst und in kontinentalen Schelfgebieten (Stromatholithe, Algen) nur in geringer Konzentration vorhanden
- Neoproterozoikum: Auseinanderbrechen des Urkontinents Rodinia
Änderung der globalen Zirkulation der Ozeane
Nährstoffreiches Tiefenwasser gelangt in die Flachwasserzonen der kontinentalen Schelfe

c) **Günstige klimatische Bedingungen nach den Schneeballepisoden des Neoproterozoikums**

- Während der abwechselnden Kalt- und Warmphasen war das Leben einem sehr hohen Anpassungsdruck ausgesetzt – vermehrte Mutationsraten
- Am Ende des Ediacariums pendelten sich die mittleren Temperaturen in den Äquatorialbereichen (wo sich die kambrischen Schelfe befanden) auf ca 20 bis 25° C ein. War das der Temperaturbereich, wo sich die Lebewesen besonders wohlfühlten und sich deshalb so schnell entwickelten?

d) **Positionsänderung der Kontinente relativ zur Erdachse**

- In der Periode der Explosion des Lebens in den flachen Schelfmeeren hat sich die Lage der Kontinente zueinander dramatisch verändert (außergewöhnlich hohe Driftgeschwindigkeiten während der kritischen 10 – 15 Ma)

- Auflösung der „Unwucht“, die sich aus dem alleinigen Superkontinent Rodinia ergeben hat durch ein „inertial interchange event“

→ **Anordnung der Kontinente entlang des Äquators, dabei Drehungen und Umordnung der ozeanischen Zirkulationssysteme (Kirschvink, 1991)**

Biologische Ursachen

a) Entwicklung harter Schalen und Skelette

Der Zugang zu Sauerstoff erlaubte die effektive Entfernung von bestimmten Ionen (z.B. Kalzium) aus den Zellen unter Aufbau von mineralischen (aber auch organischen) Schalen bzw. von Skeletteilen.

Da die Entwicklung von Skeletten Baupläne modifizieren, ermöglicht erst deren Entstehung die Entwicklung besonders großer Lebewesen.

b) Organdifferenzierungen erlauben Zunahme der Körpergrößen

Bis zum Ediacarium waren die meisten tierischen Lebewesen kleiner als 1 mm. Zum Aufbau gewebespezialisierter Organismen waren viele neue Innovationen im Bereich der Gene notwendig. Es ist nicht klar, wie derartige genetische Innovationen im Vorfeld der kambrischen Explosion stattfinden konnten (beliebter Ansatzpunkt für Kreationisten).

c) Raubtierhypothese

Die Evolution der Räuber führte zum Besetzen neuer ökologischer Nischen und der „Kampf“ zwischen Räubern und Gejagten führten zur Entwicklung neuer Baupläne und Verhaltensweisen → Schalen, Fortbewegung, Fähigkeiten zur Verteidigung, Eingraben in Sedimente etc.

Das Ende des Kambriums und damit der kambrischen Explosion

Der letzte, jüngste Teil des Kambriums ist durch ein Aussterbeereignis gekennzeichnet, welches die Disparität der Phyla auf ziemlich genau der heutigen Zahl reduzierte. Danach kamen (bis auf 1 Ausnahme) keine neuen Tierstämme hinzu.

Es ist eine erstaunliche Tatsache, daß die Diversifizierung der größeren Tiere in Form neuer Baupläne im Zeitalter des Kambriums begann und endete.

Frage: Ist diese spezielle Evolutionsstruktur ein besonderes Kennzeichen des tierischen Lebens auf der Erde oder wird es sich auf anderen „Exoplaneten“ wiederholen?

Unterschied Kambrium – spätere Epochen

- Im Kambrium waren noch viele ökologische Nischen in den marinen Lebensräumen unbesetzt
- Nach dem Perm / Trias Massensterben (98 %) konnten sich keine neuen Stämme mehr bilden, weil es das noch vorhandene genetische Inventar nicht mehr hergab.

(→ können aus vorhandenen Genen überhaupt evolutiv neue Baupläne entstehen?)

Noch ein paar Impressionen aus dem Präkambrium und Kambrium

