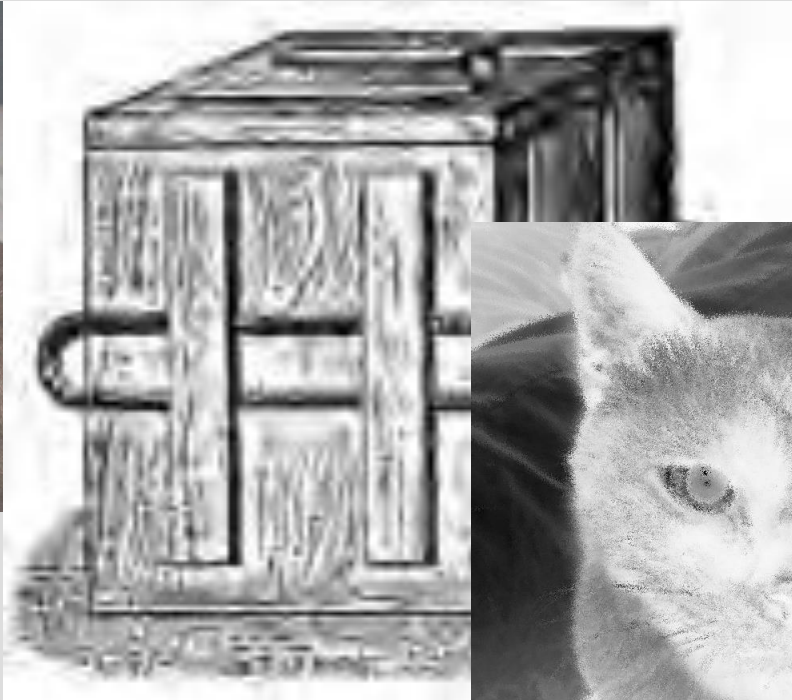


Schrödingers Katze und Komplexität der Evolution

Schrödingers Metapher

„Die Katze in der Kiste ist sowohl lebendig als auch tot“

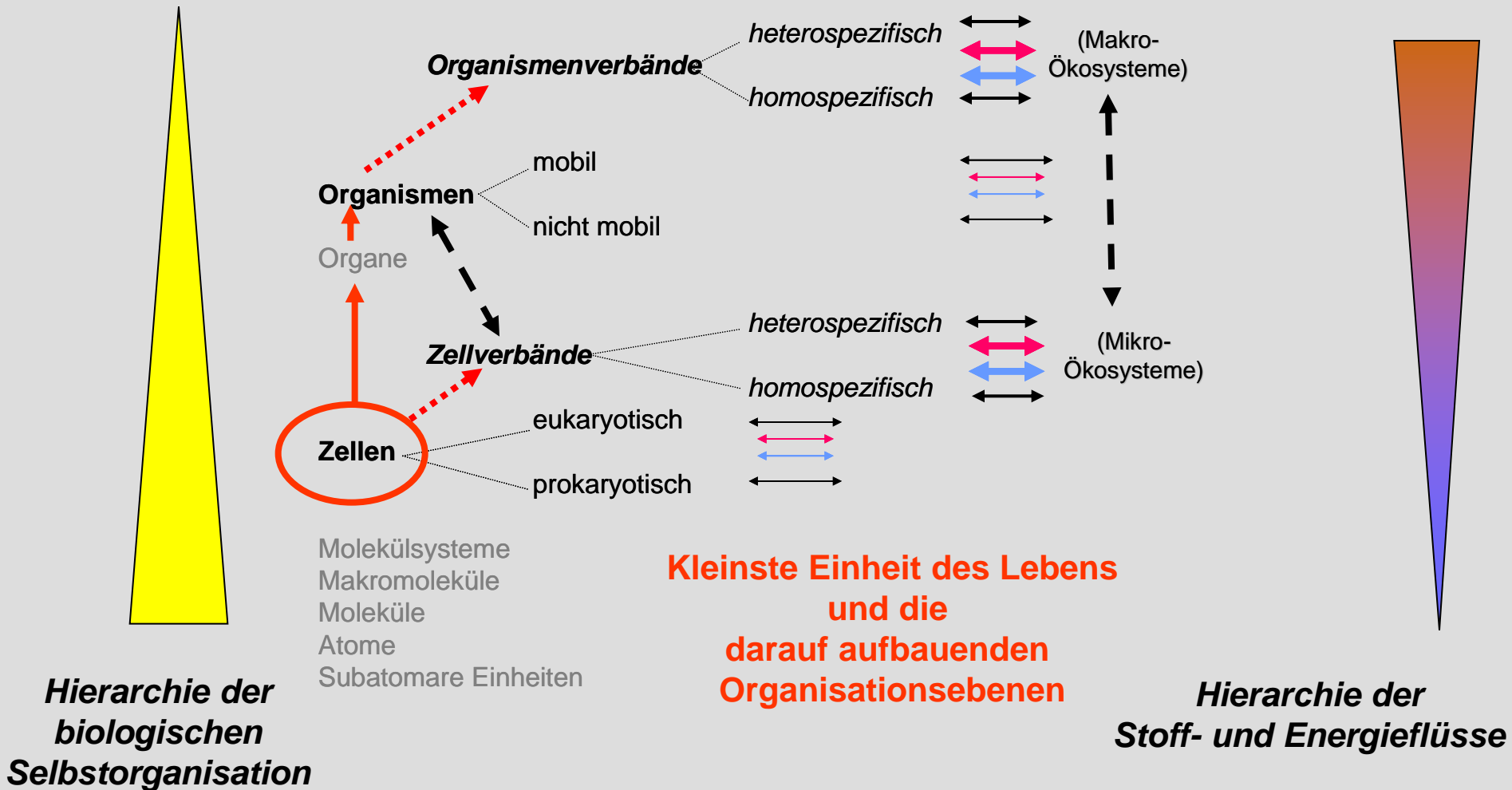


Übersicht

- Grundprinzipien biologischer Prozesse
- Quantenphysikalische Phänomene in der Biologie
- Komplexität in der Evolution - Energieumwandlung
- Komplexität in der Evolution - Differenzierung der Organismen
- Komplexität in der Evolution - Ökosystemarer Kontext
- Komplexität in der Evolution – Menschliche Gesellschaft

Grundprinzipien biologischer Prozesse

Leben – Prozesse im Spannungsfeld gegenläufiger Wechselwirkungen

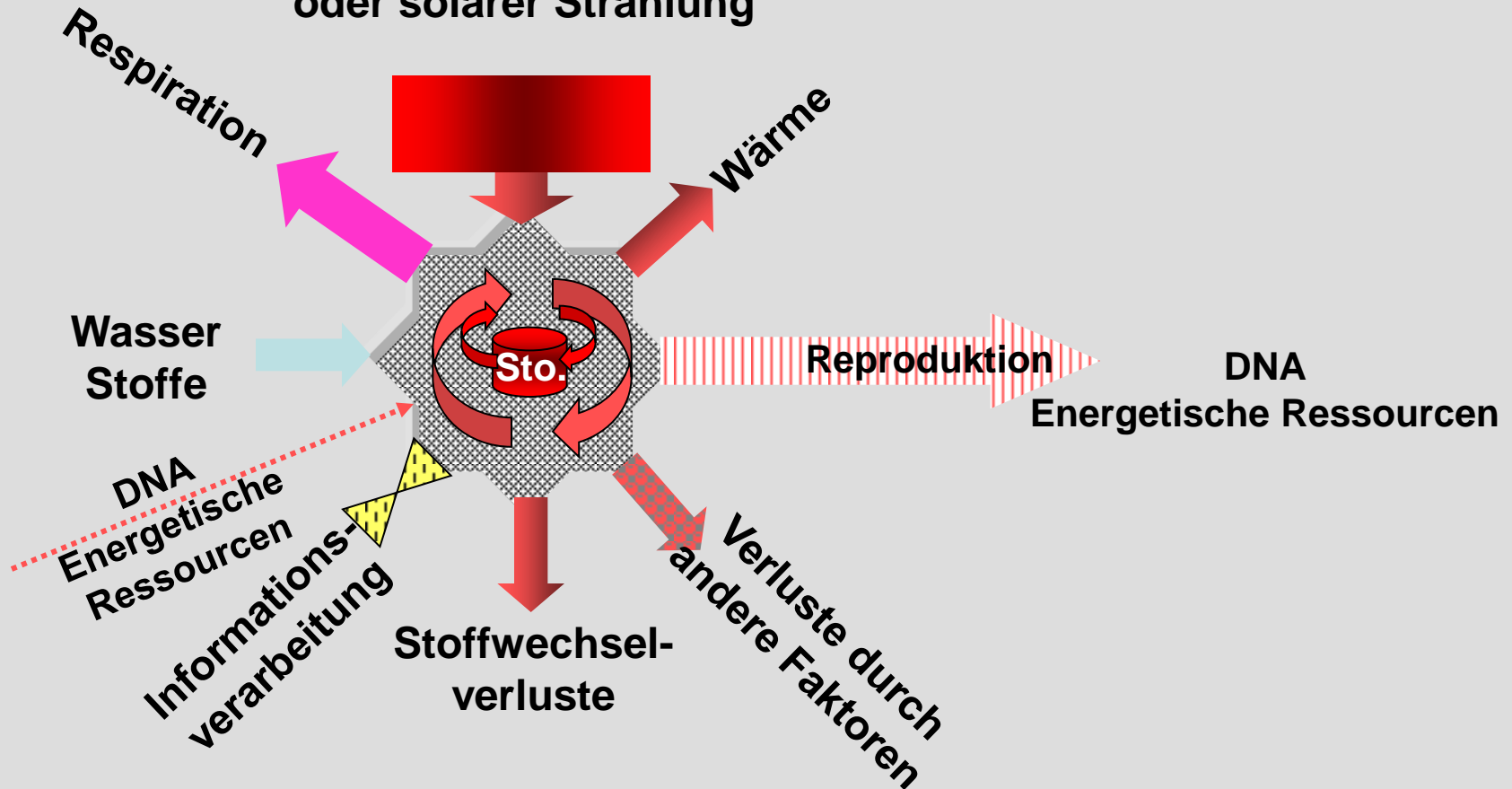


Wie sind Zellen?

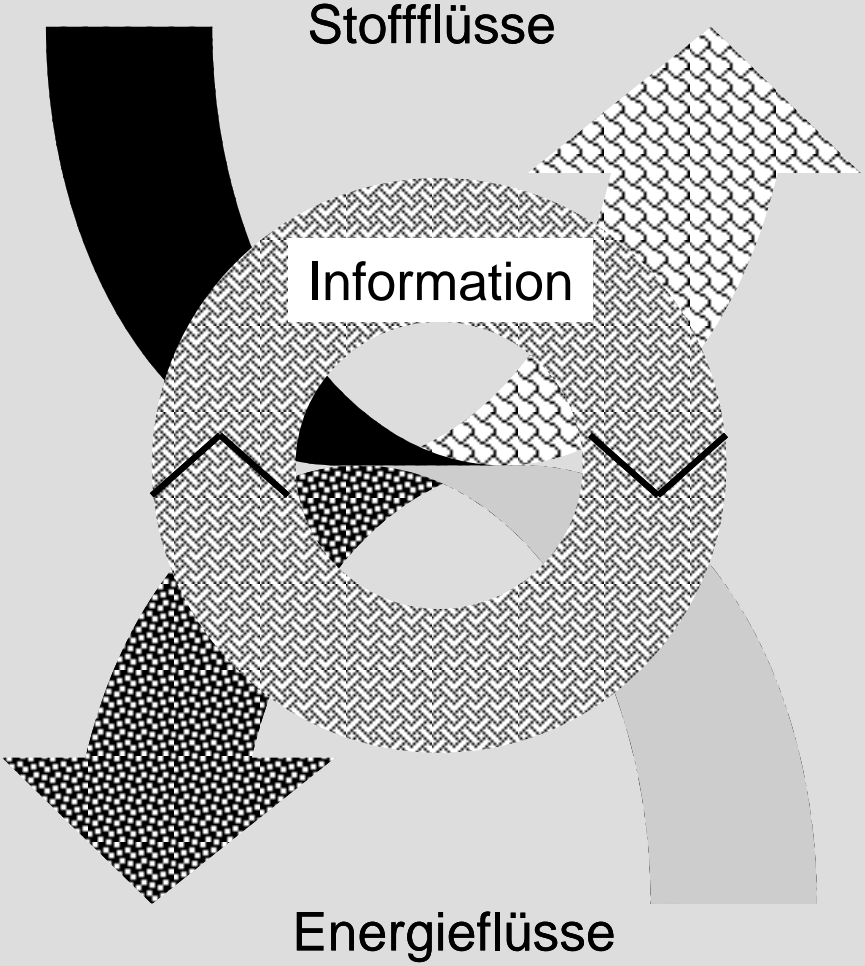


Die Zelle im Netzwerk externer Wechselwirkungen

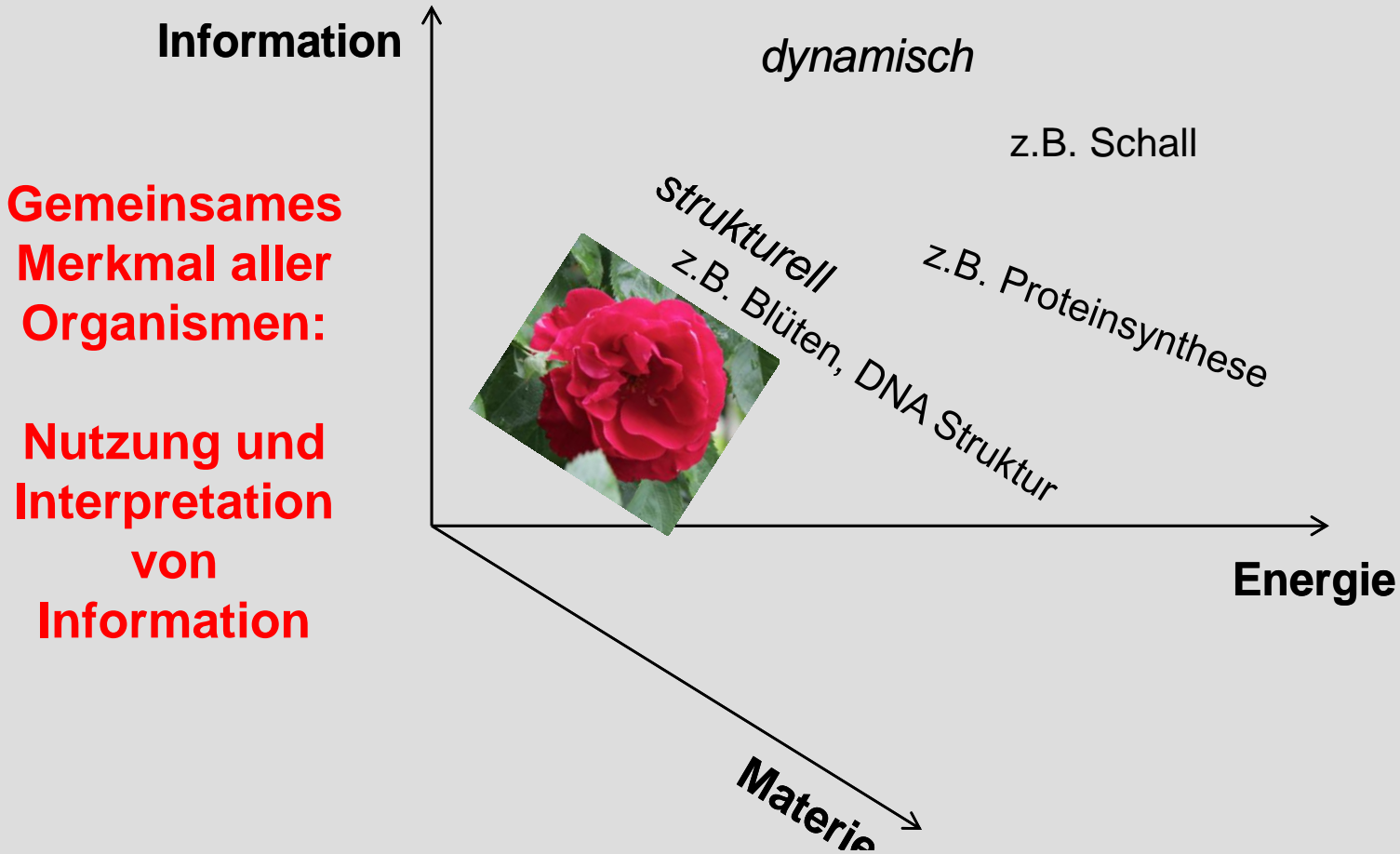
Energie von
anorganischen, organischen chemischen Verbindungen
oder solarer Strahlung



Zelle: Emergentes System zur Absenkung der Entropie in den Informationsflüssen des Genotypus



Information wird sowohl in Form von Energie als auch Materie beobachtbar



Quantenphysikalische Phänomene in der Biologie

Worum geht es in der Quantenphysik

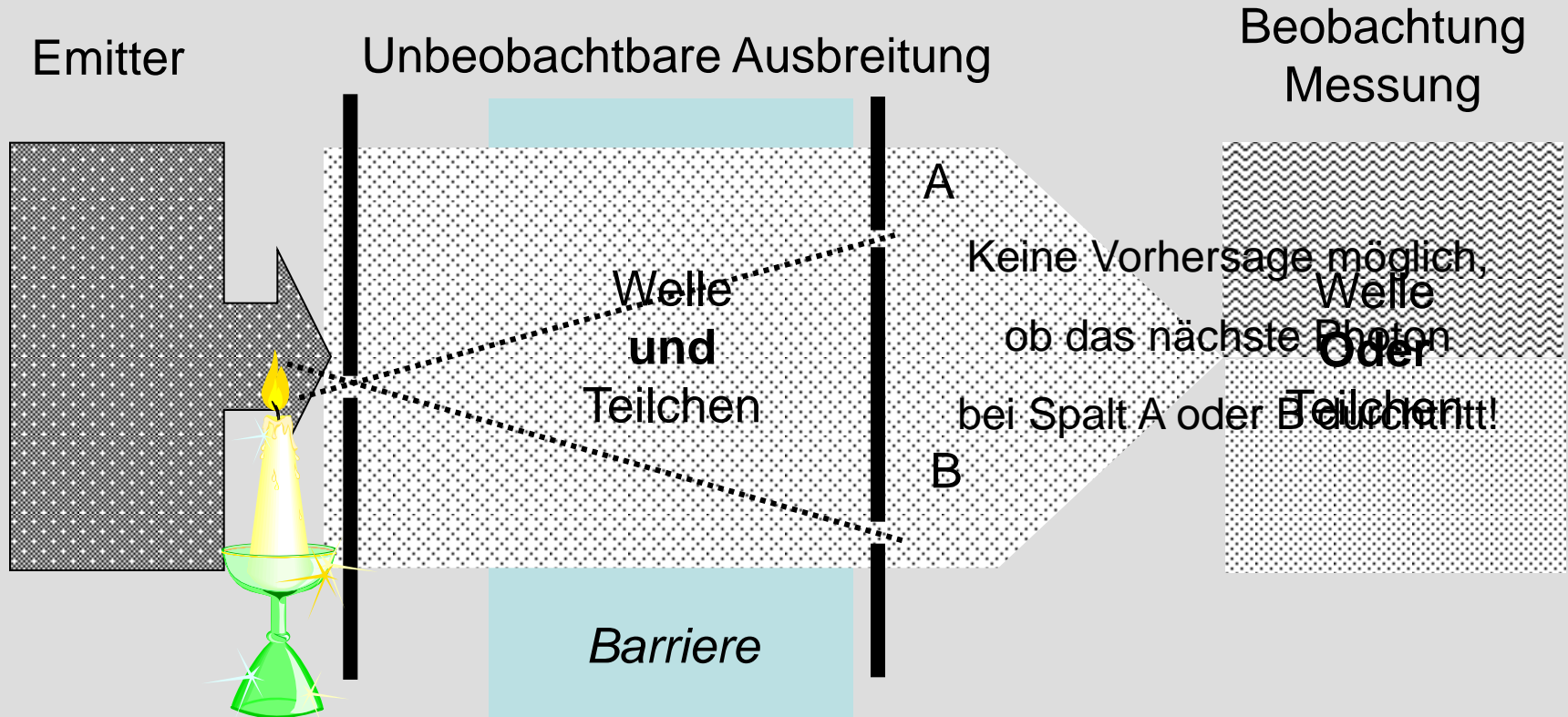
Vereinfacht um die Eigenschaften und Phänomene von

Elementarteilchen,

beispielsweise Photonen, Elektronen, Protonen, Neutronen,

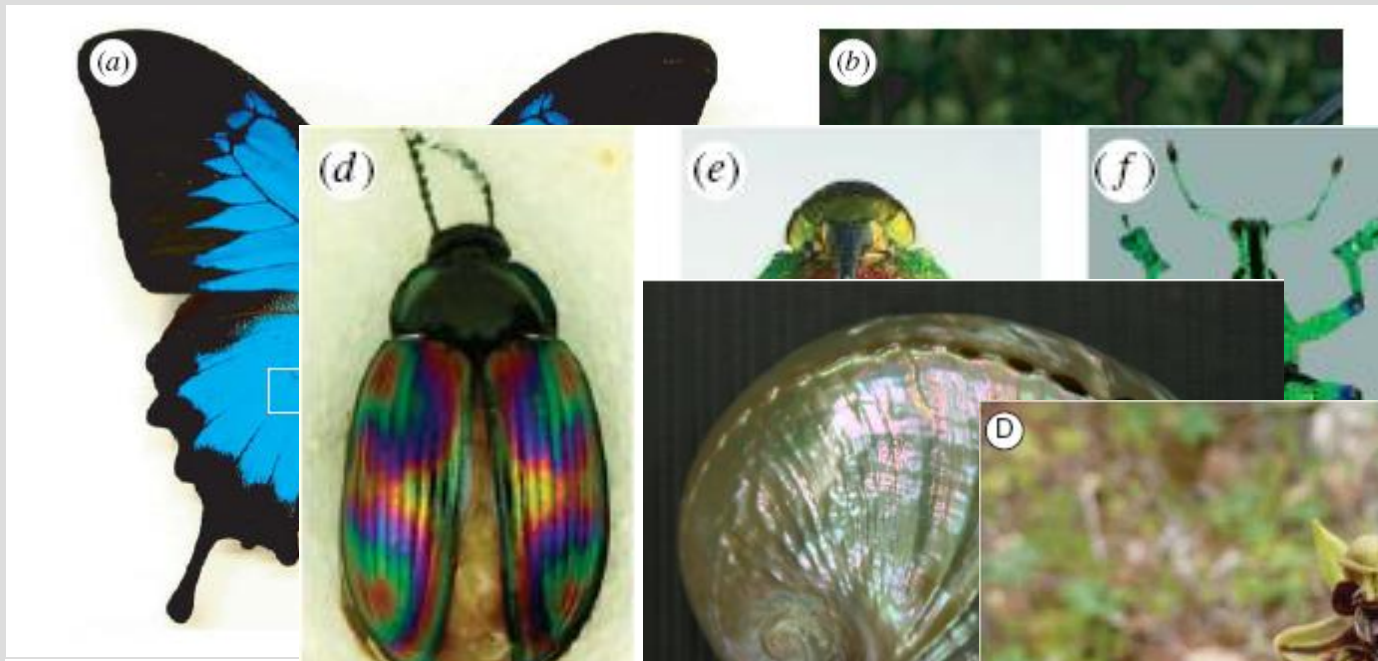
Neutrinos ...

Von zentraler Bedeutung für biologische Phänomene – der eigenartige Welle-Teilchen Dualismus von Quanten



Frei beobachtbare Effekte biologischer Photonengitter

„Schillerfarben“ bei Tieren und Pflanzen



Quelle: Shawkey

Quelle: Seago et al.

Quelle: Tan et al. 2010



Quelle: Glover & Whitney 2010

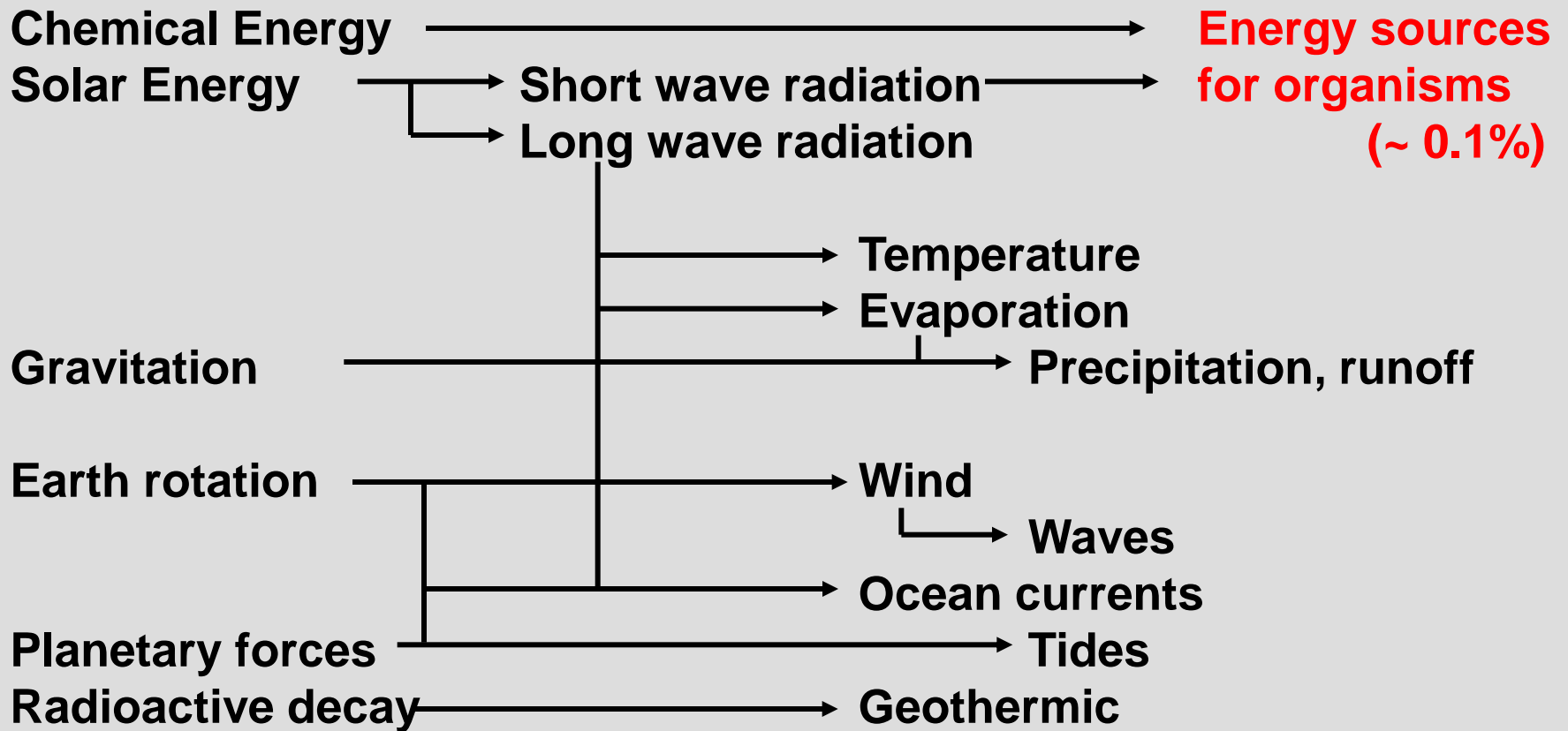
Frei beobachtbare Effekte biologischer Photonengitter

Tarnung durch Reduktion der Reflexion auf ~11% (Gabunviper)



Quelle: Spinner et al. 2013

Nicht direkt sichtbar, aber essentiell für die Erhaltung allen Lebens sind Energieflüsse

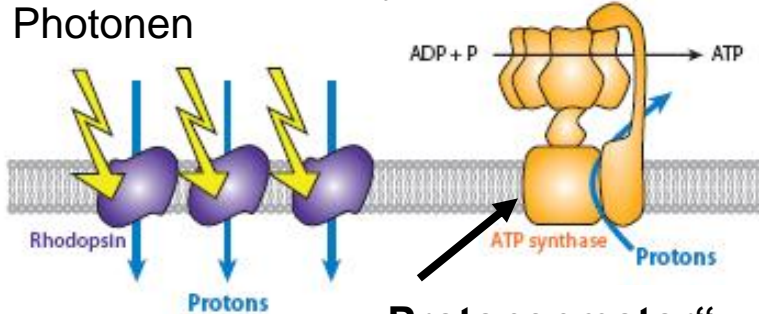


Qualitative Merkmale der biologischen Energieumwandlung

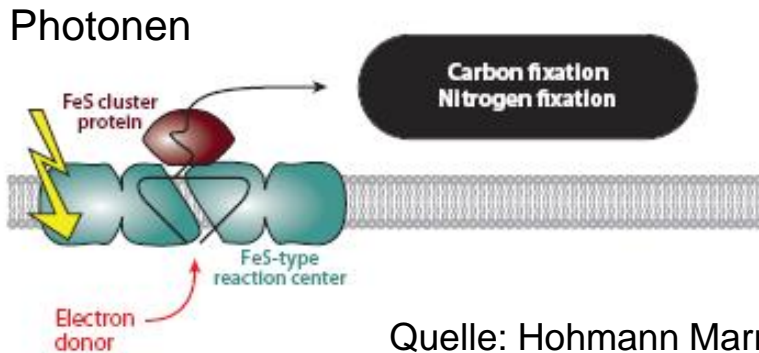
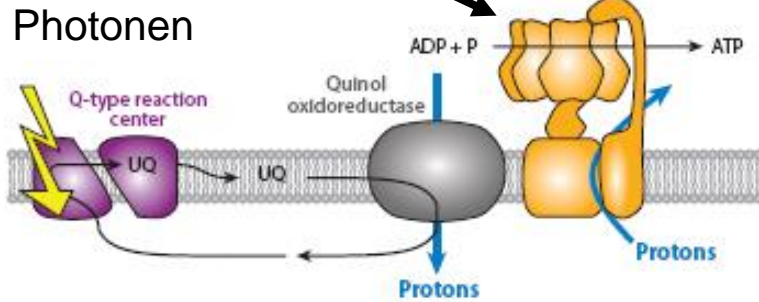
- In allen Organismen erfolgt die Energieumwandlung in den einzelnen Zellen
- Von den unterschiedlichen Formen freier Energie der Umgebung kann von Organismen nur **Quantenenergie** direkt umgewandelt werden (Photonen bei Photometabolismus bzw. Elektronen und Protonen bei Chemometabolismus) – ermöglicht die kontrollierte Verteilung der freien Energie auf die endozellulären Umwandlungsbereiche
- Formen thermodynamischer und mechanischer Energie liefern hingegen Rahmenbedingungen für die Entwicklung von Organismen
- Quantenmechanische Phänomene sind essentiell für die Regulation molekularmechanischer Prozesse in Zellen (z.B. Tunneleffekte bei katalytischen Prozessen)

Beispiele von photo- und chemosynthetischer Energieumwandlung

Photosynthese



„Protonenmotor“

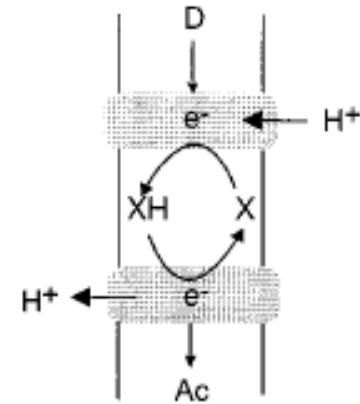
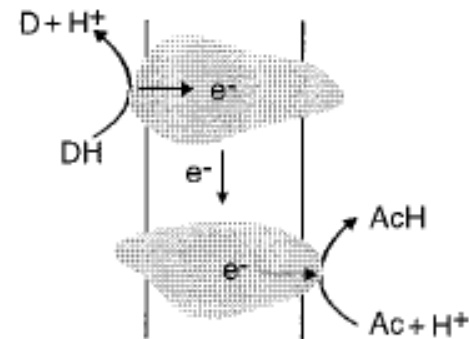


Quelle: Hohmann Marriott & Blankenship 2011

Chemosynthese

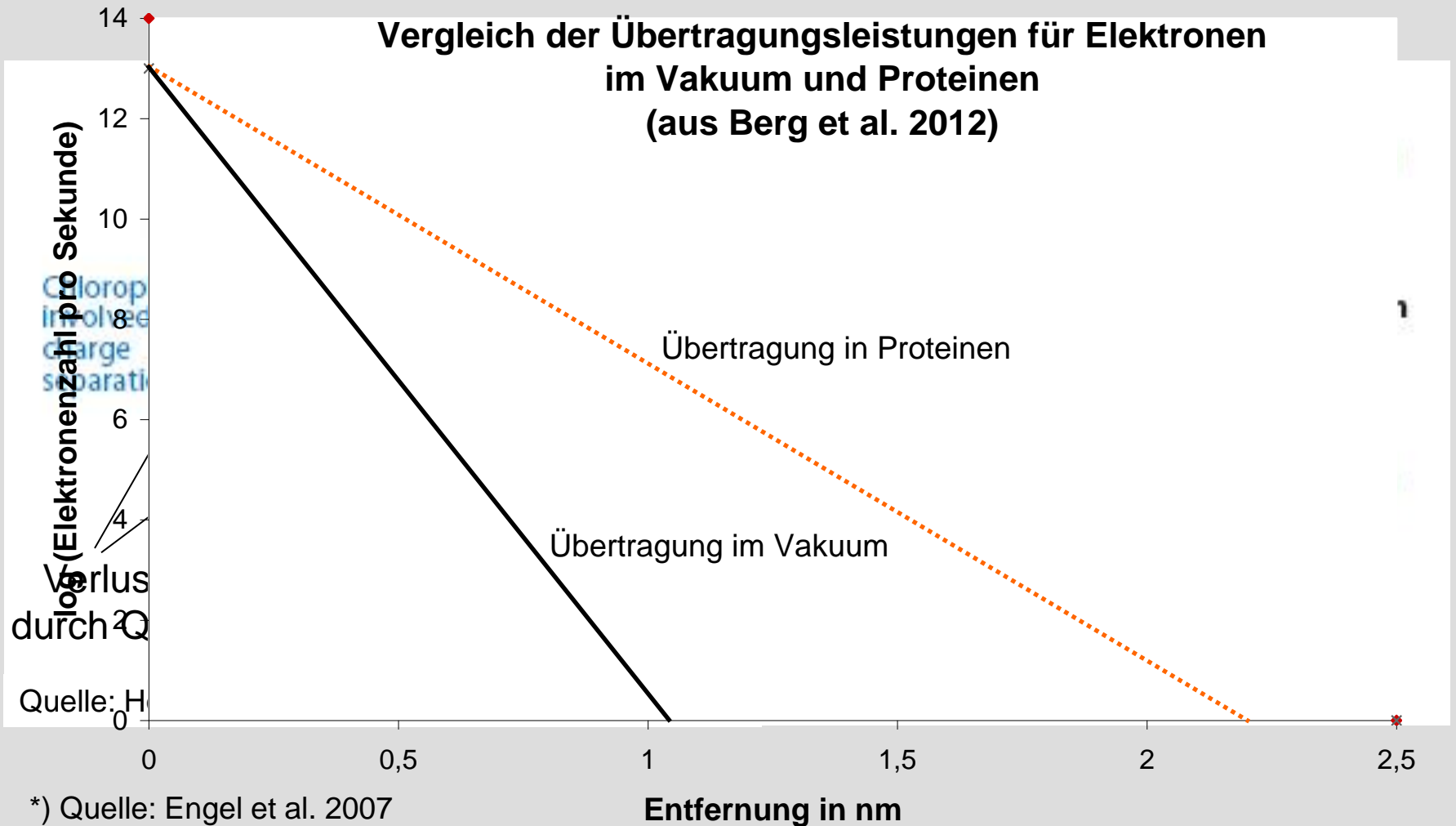
Elektronentransfer

Protonentransfer

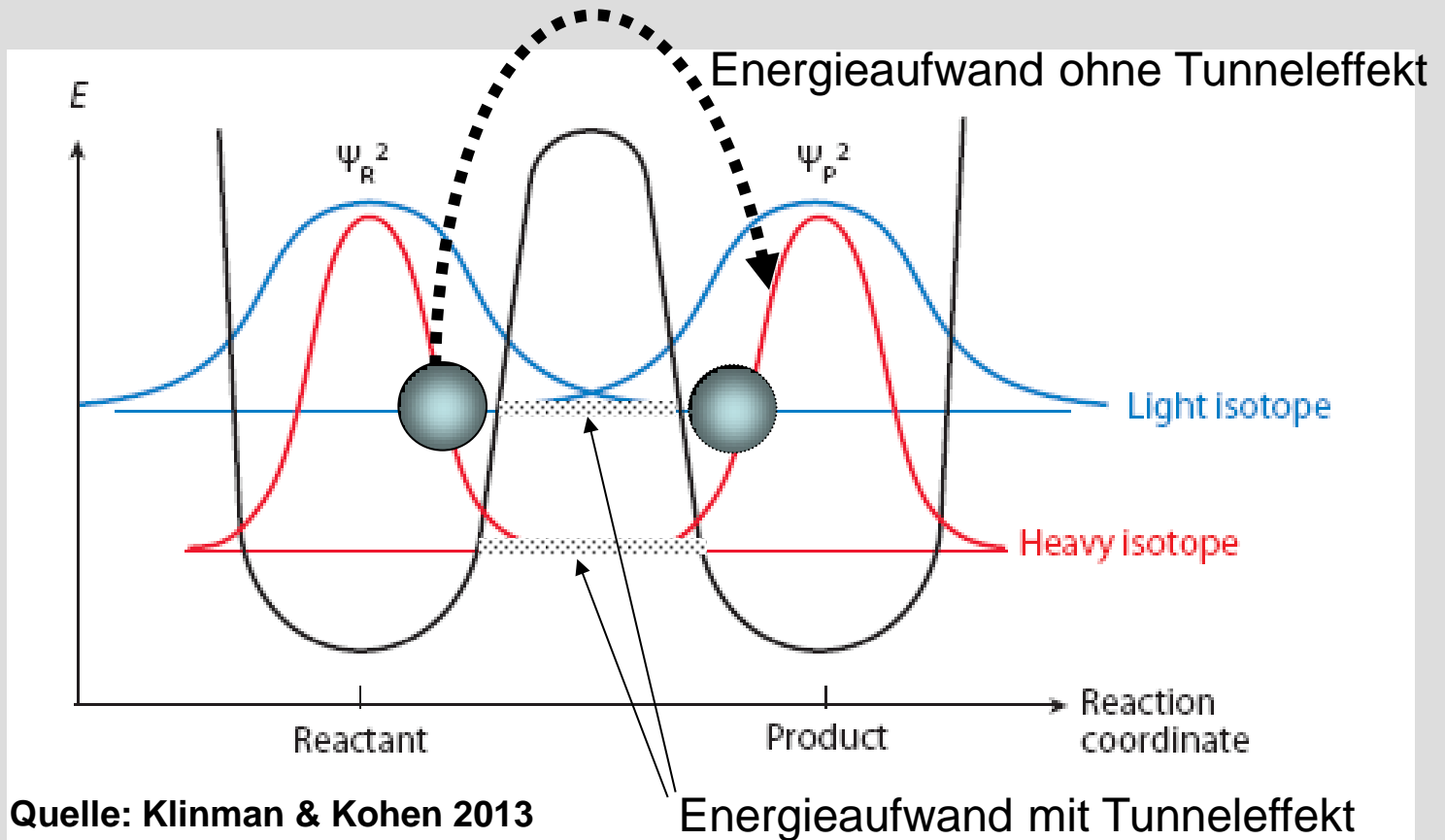


Quelle: Schäfer et al. 1999

Schemata unterschiedlicher Photosynthesysteme und Quanteneffekte der Energieübertragung

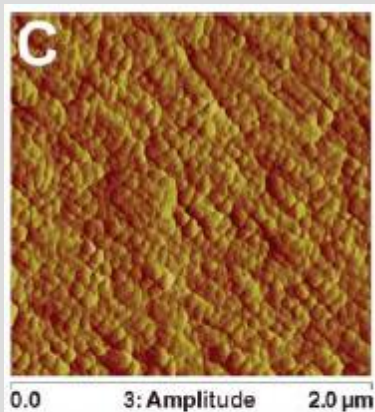


Vereinfachtes Schema des „Tunneleffektes“



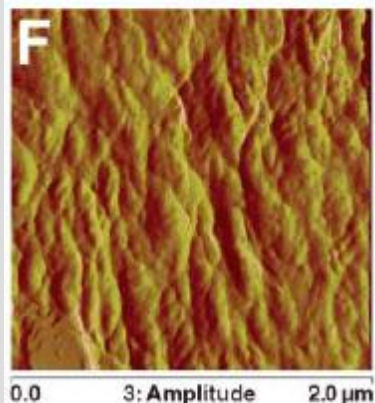
„Tunneleffekt“ von besonderer Relevanz für die Reaktionsgeschwindigkeit enzymatisch geregelter Prozesse

Beispiel: Enzymatischer Nachweis von Kollagen in rund 68 Millionen Jahre alten Knochen von *Tyrannosaurus rex* (Schweitzer et al. 2007)



Vergleich von Aufnahmen mit Rasterkraftmikroskop (AFM)

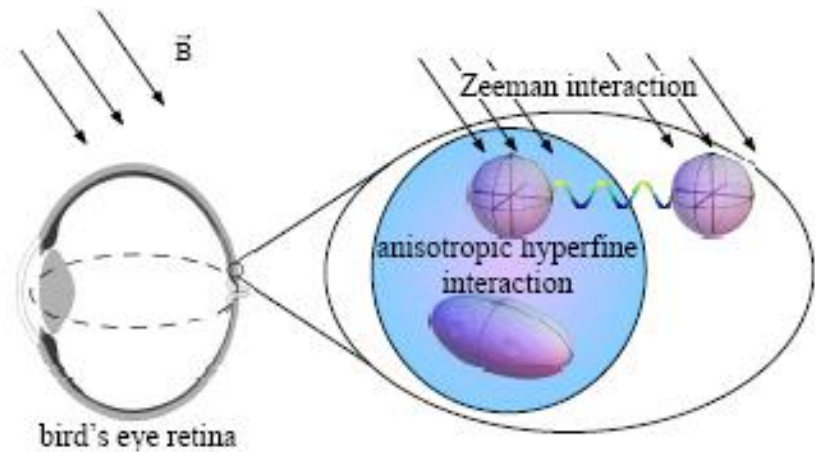
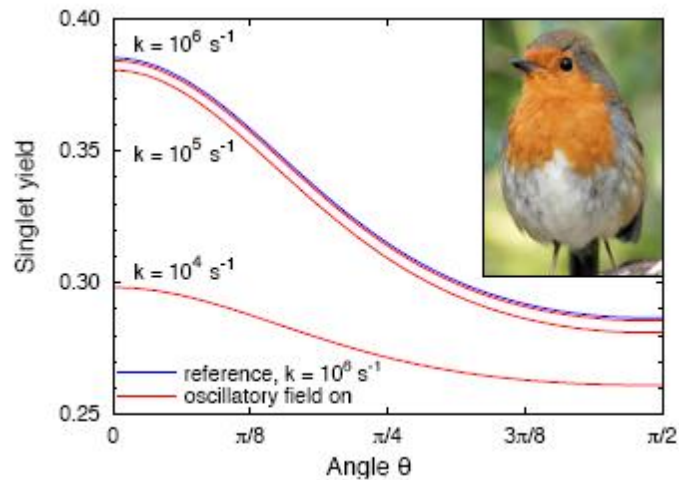
Knochen
Tyrannosaurus rex
(~ 68 Mio. Jahre)



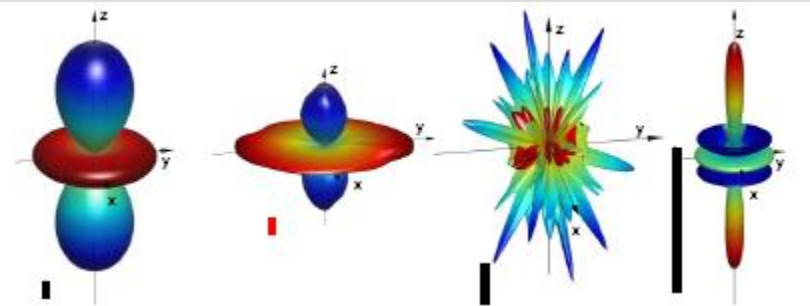
Knochen
Emu
(rezent)

Durch den „Tunneleffekt“ können Reaktionsgeschwindigkeiten bis zum 10^{25} -fachen erhöht werden!
(Klinman & Kohen 2013)

Bekannt, aber noch nicht geklärt – Orientierung mit dem „Quantenkompass“



Quelle: Gauger et al. 2011



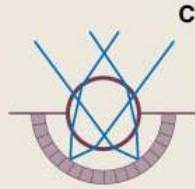
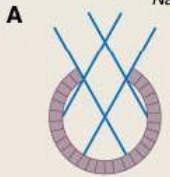
Quelle: Rodgers & Hore 2009

Allgegenwärtige – biologische Quantendetektoren

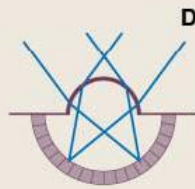
Chambered eyes



Nautilus



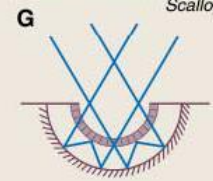
Octopus



Red-tailed hawk



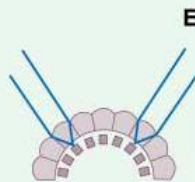
Scallop



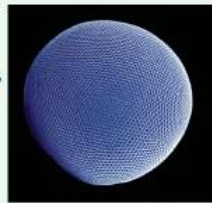
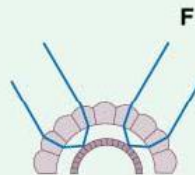
Compound eyes



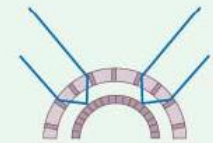
Sea fan



Dragonfly



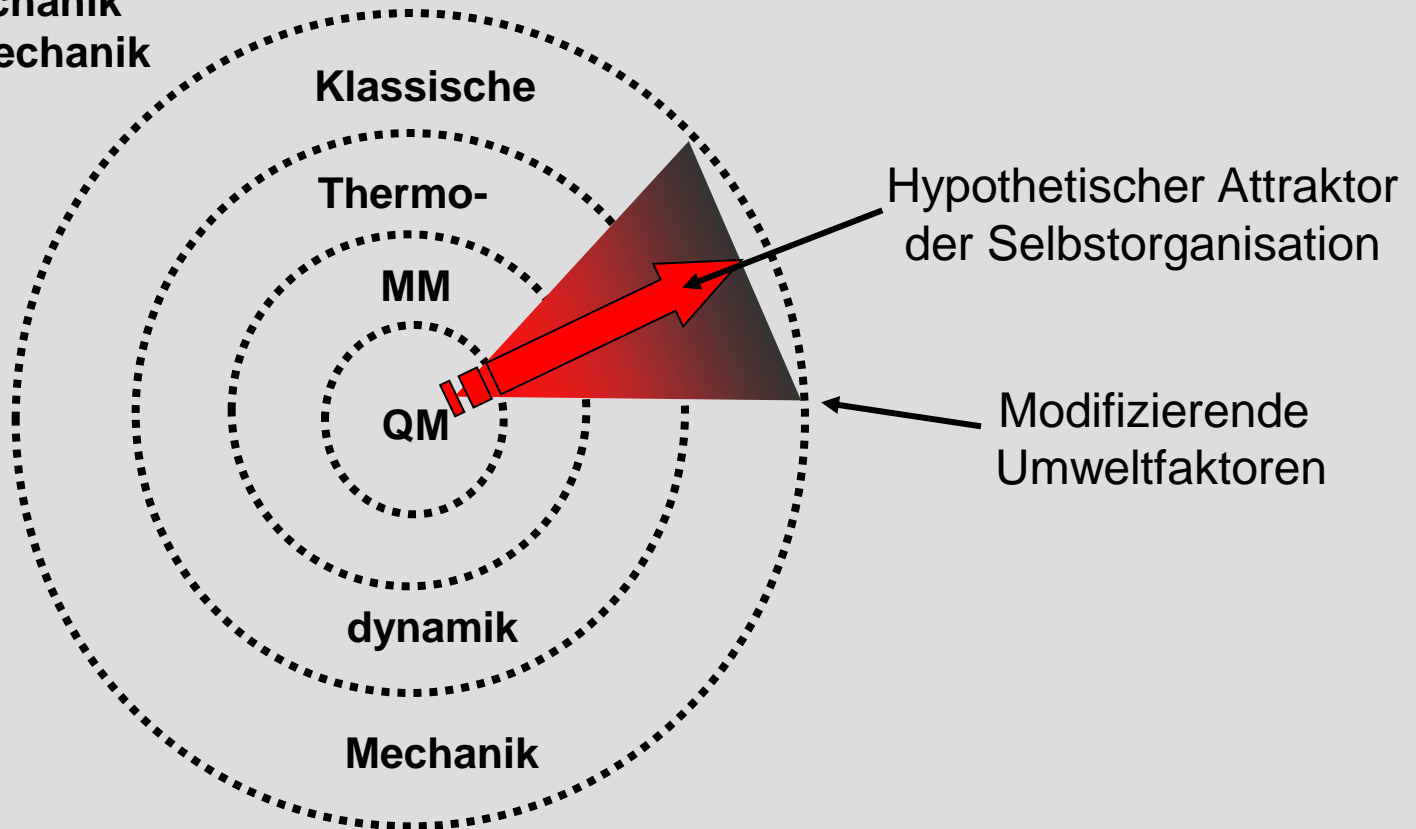
Krill eye



Lobster

Position von Organismen im Kontext physikalischer Prozesse

QM = Quantenmechanik
MM = Molekularmechanik



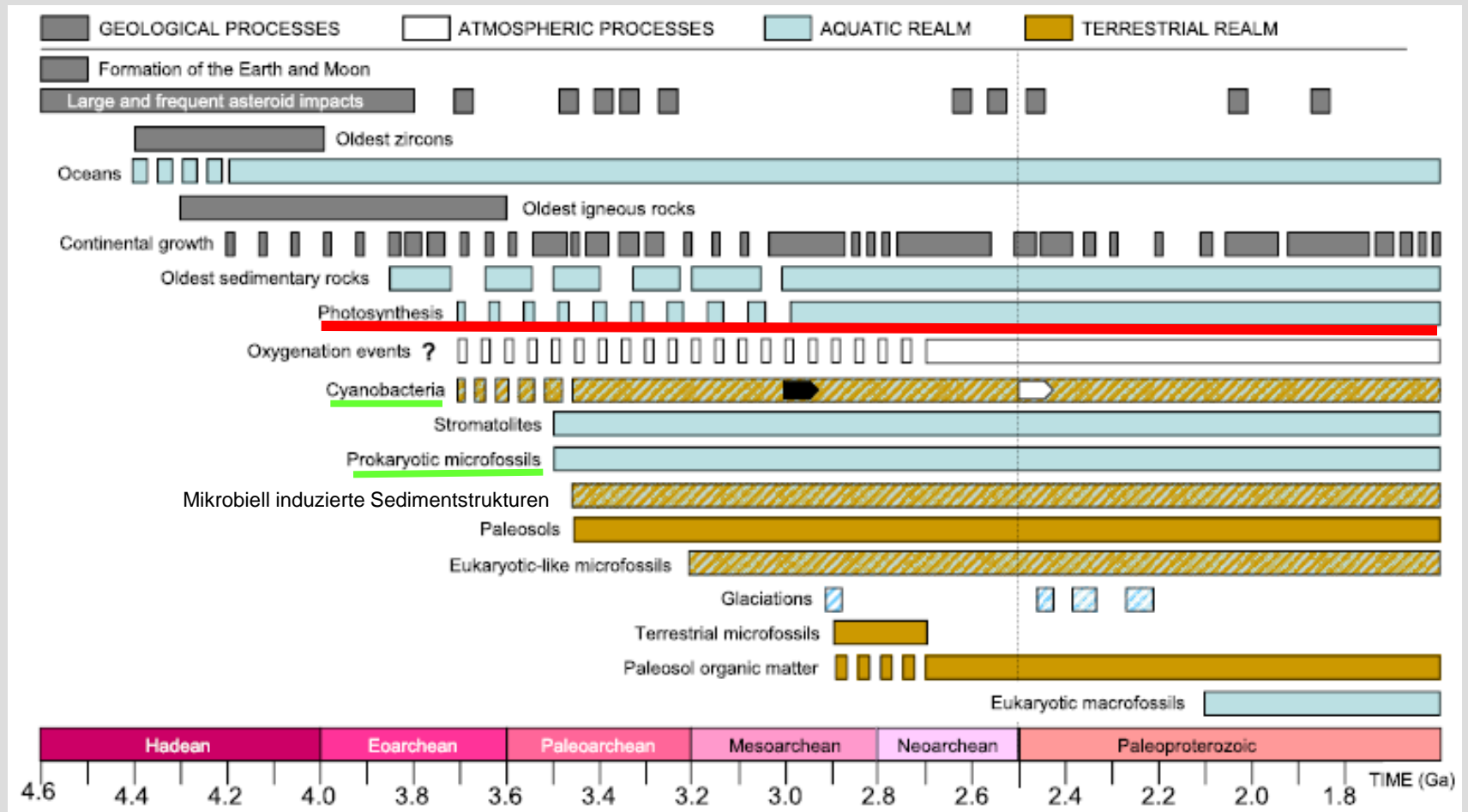
Komplexität in der Evolution

Energieumwandlung

Welche Komplexität ist gemeint

- Systeme mit vielen untereinander vernetzten Teilen
- Nicht lineare Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Teilen
- Alles bezogen auf Organismen und deren Wechselwirkungen mit der Umwelt

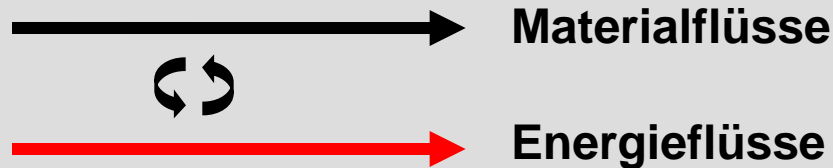
Energetisch – zunehmende Dominanz der photosynthetischen Energieumwandlung



Quelle: Beraldi-Campese 2013

Merkmale der chemoautotrophen Energieumwandlung

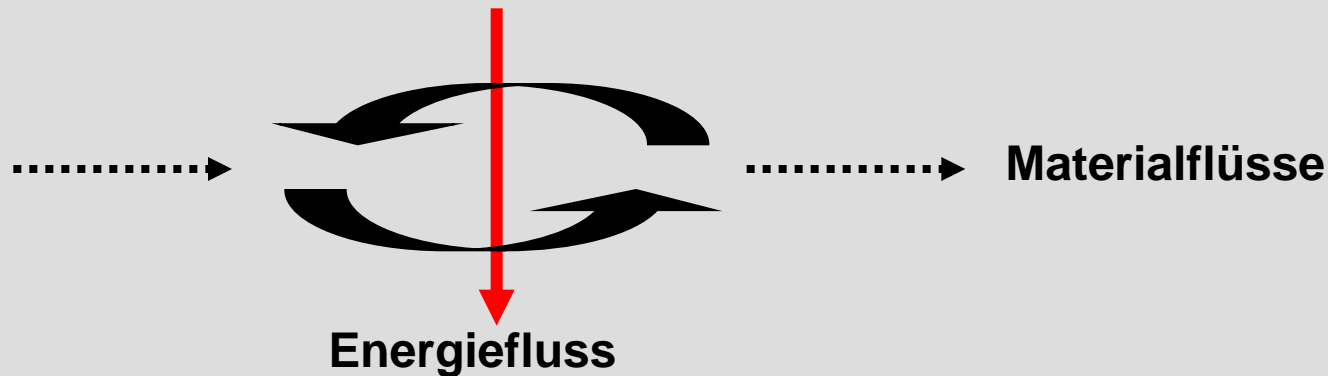
- Energieflüsse sind mit Materialflüssen gekoppelt



- Energiequellen sind diskontinuierlich in Zeit und Raum
- Hohe Diversität energetisch nutzbarer Verbindungen
- Unterschiede zwischen assimilativem und respirativem Stoffwechsel möglich → dadurch geringe Speicherung von organischer Substanz
- Erfordern eine große Variabilität des primären Metabolismus und hohe Anpassungsleistungen (Temperatur, pH, lange Mangelphasen über Mio. Jahren)

Merkmale photoautotropher Energieumwandlung

- Die energetische Umwandlung der solaren Strahlung erweitert die Regulationsmöglichkeit von Stoffflüssen



- Energieflüsse sind zyklisch kontinuierlich, aber abhängig von der geografischen Breite
- Assimilativer und respirativer Stoffwechsel sind spiegelbildlich – dadurch Akkumulation organischer Substanz möglich

Konsequenzen für die Entwicklung von Organismengemeinschaften

Chemoautotrophie

- Energetische Interaktionen primär über Stoffwechselprodukte
- Opportunistische Gemeinschaften, bestimmt durch +/- gemeinsame metabolische Vorteile
- Robust gegenüber Änderungen von Rahmenbedingungen
- Morphologische Differenzierung energetisch begrenzt

Photoautotrophie

- Energetische Interaktionen über organische Substanz der Organismen
- Organismen der nachfolgenden Umwandlungsstufen abhängig von den Organismen der primären Umwandlungsstufen
- Gegenüber Änderungen von Rahmenbedingungen nur begrenzt anpassungsfähig
- Ermöglicht energetisch hohe morphologische Differenzierung

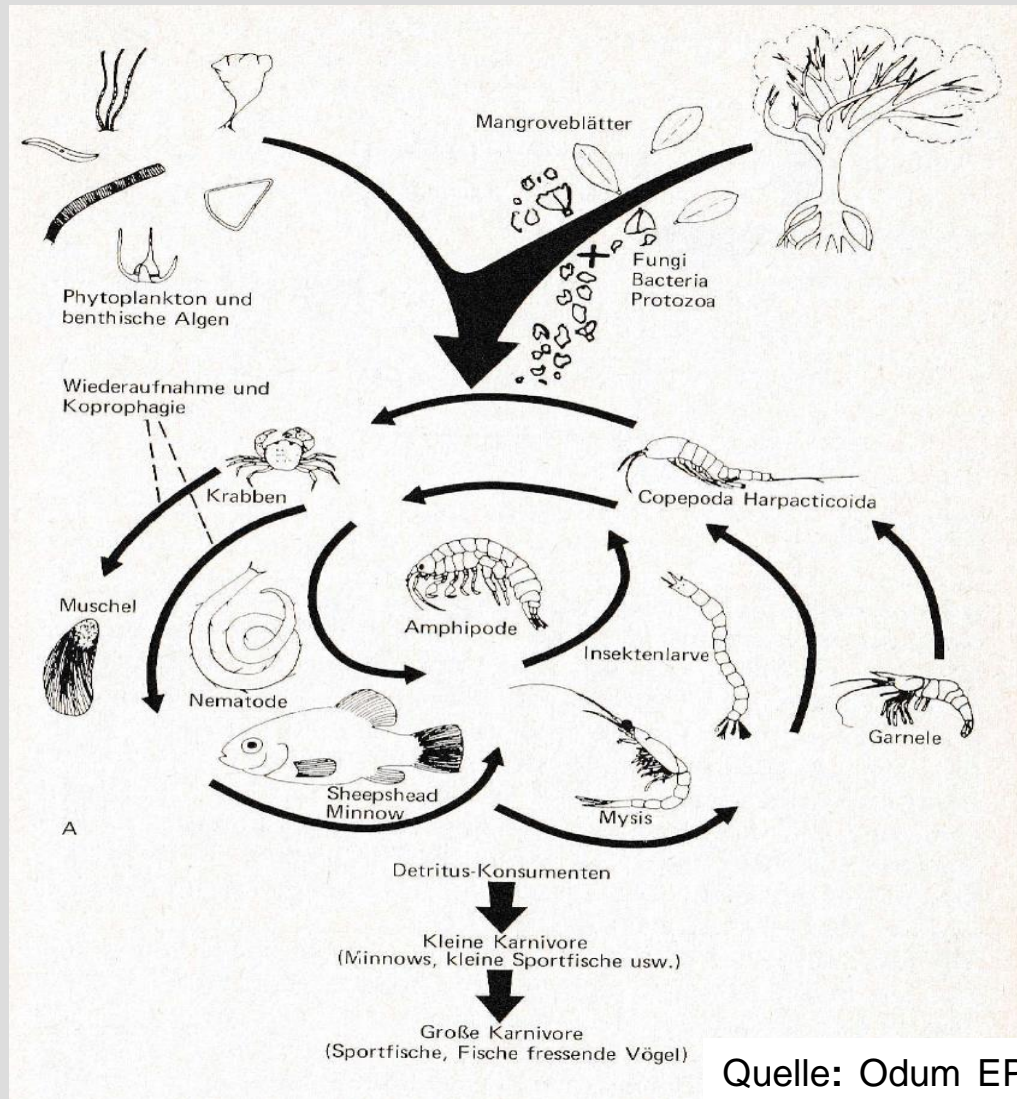
Beispiele von (teilweise) chemoautotrophen Organismengemeinschaften



Source: Riding 2011

Quelle:

Beispiel einer photoautotrophen Organismengemeinschaft

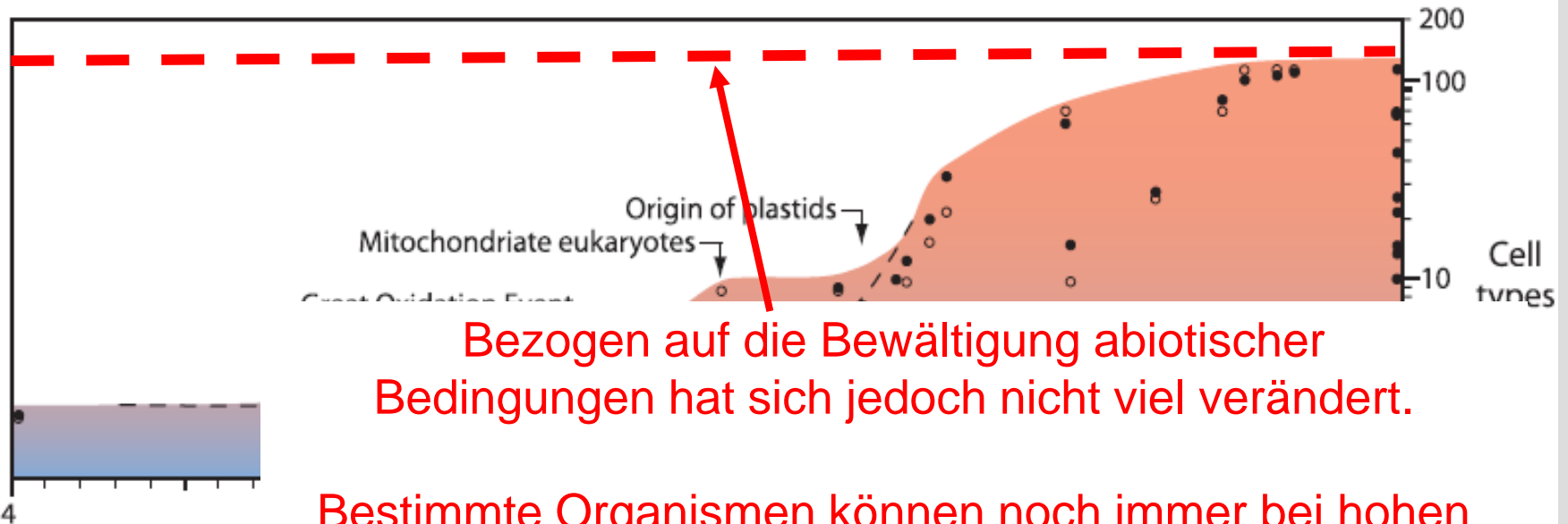


Komplexität in der Evolution

Differenzierung der Organismen

Nimmt die Komplexität im Laufe der Evolution zu ?

Die zelluläre Perspektive

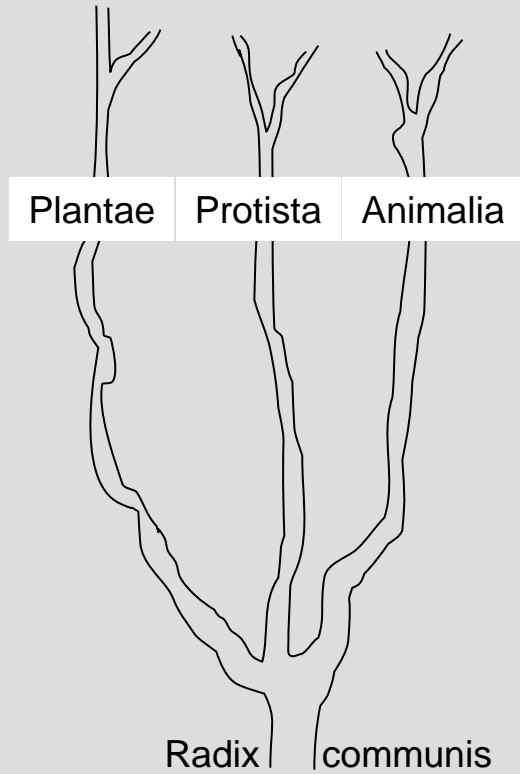


Bezogen auf die Bewältigung abiotischer Bedingungen hat sich jedoch nicht viel verändert.

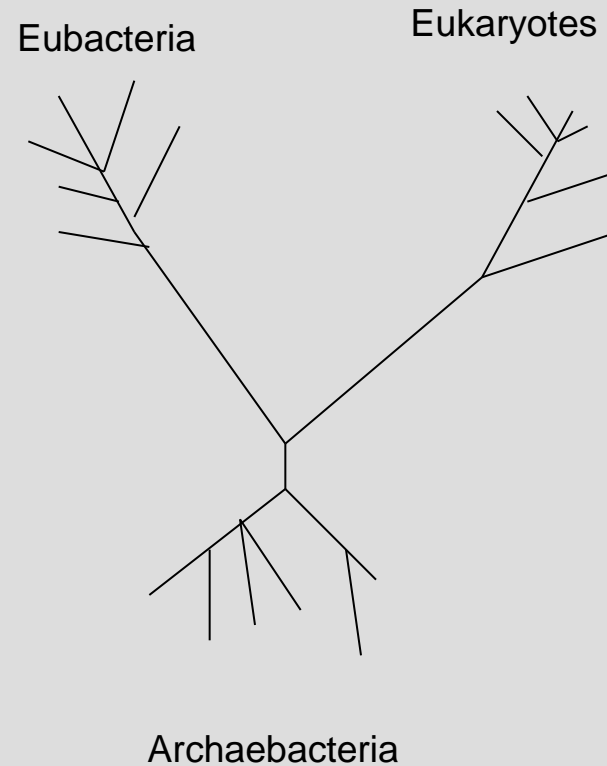
Bestimmte Organismen können noch immer bei hohen Temperaturen bis ca. 120°C, in extrem sauren (pH 0) oder basischen Milieus (pH 13); hohen Salzkonzentrationen, bzw. unter kontinuierliche radioaktive Belastungen leben.

Source: Hedges e

Vom Stammbaum zu Netzwerken der Evolution

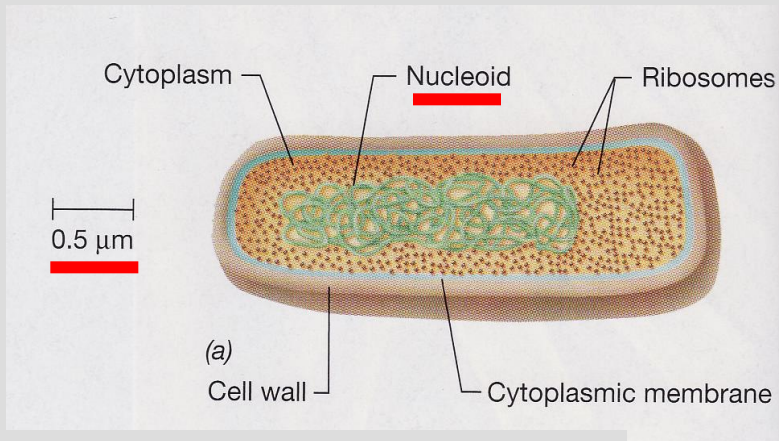


Haeckel 1866



Woese 1987

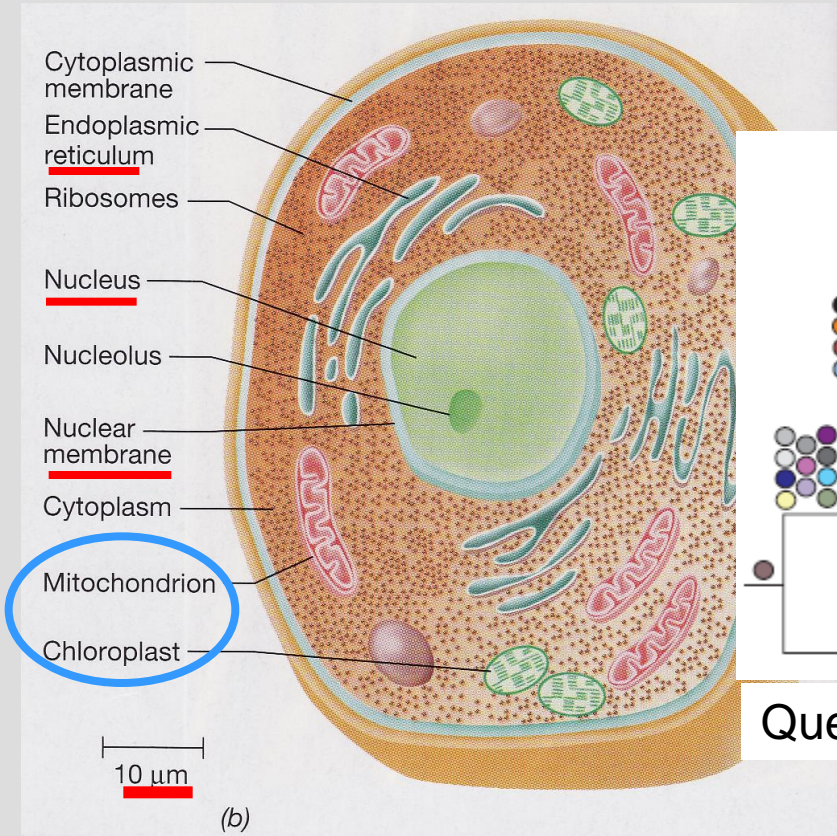
Zelluläre Merkmale der Prokaryoten - Archaea und Bakterien



Quelle: Madigan et al. 2003

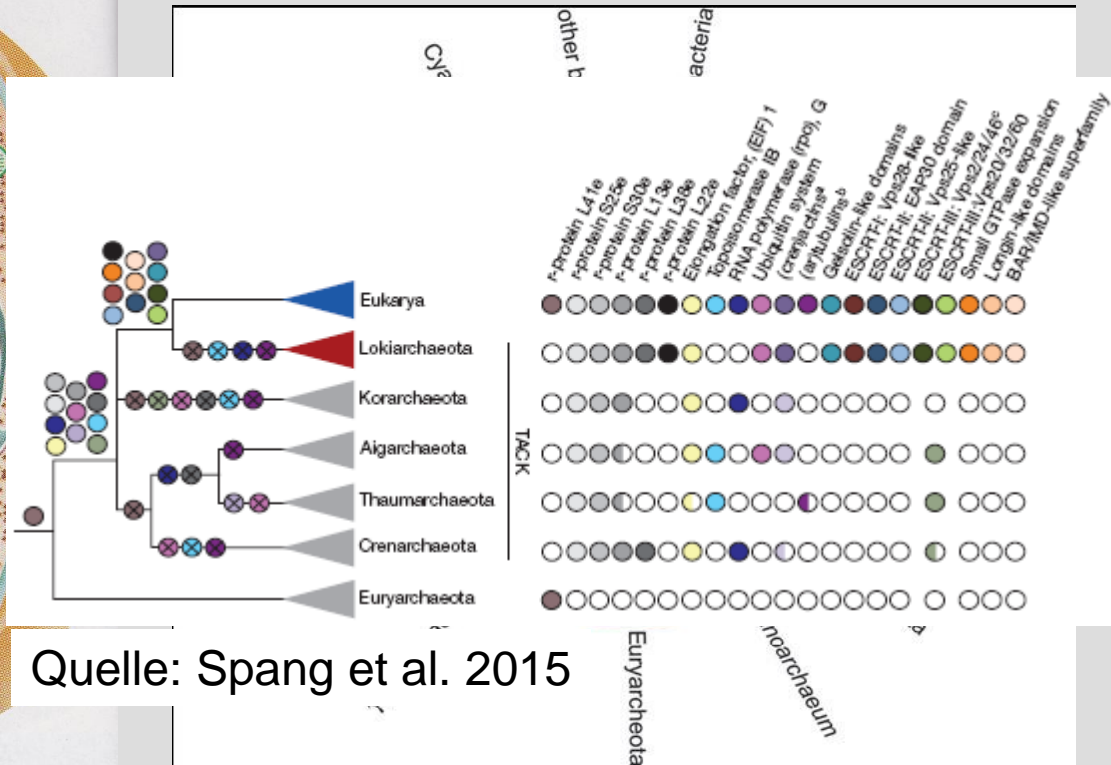
	Bakterien	Archaea
Zellwand	Muraminsäure +	Muraminsäure –
Membranlipide	Esterverbind.	Etherverbind.
DNA mit Histonen	Nein	Ja
Chemolithotropie	Ja	Ja
Methanogenese	Nein	Ja
Chlorophyll Photos.	Ja	Nein
Obere thermische Lebensgrenze	73° - 95° C	~120°C

Zelluläre Merkmale der Eukaryoten



Quelle: Madigan et al. 2003

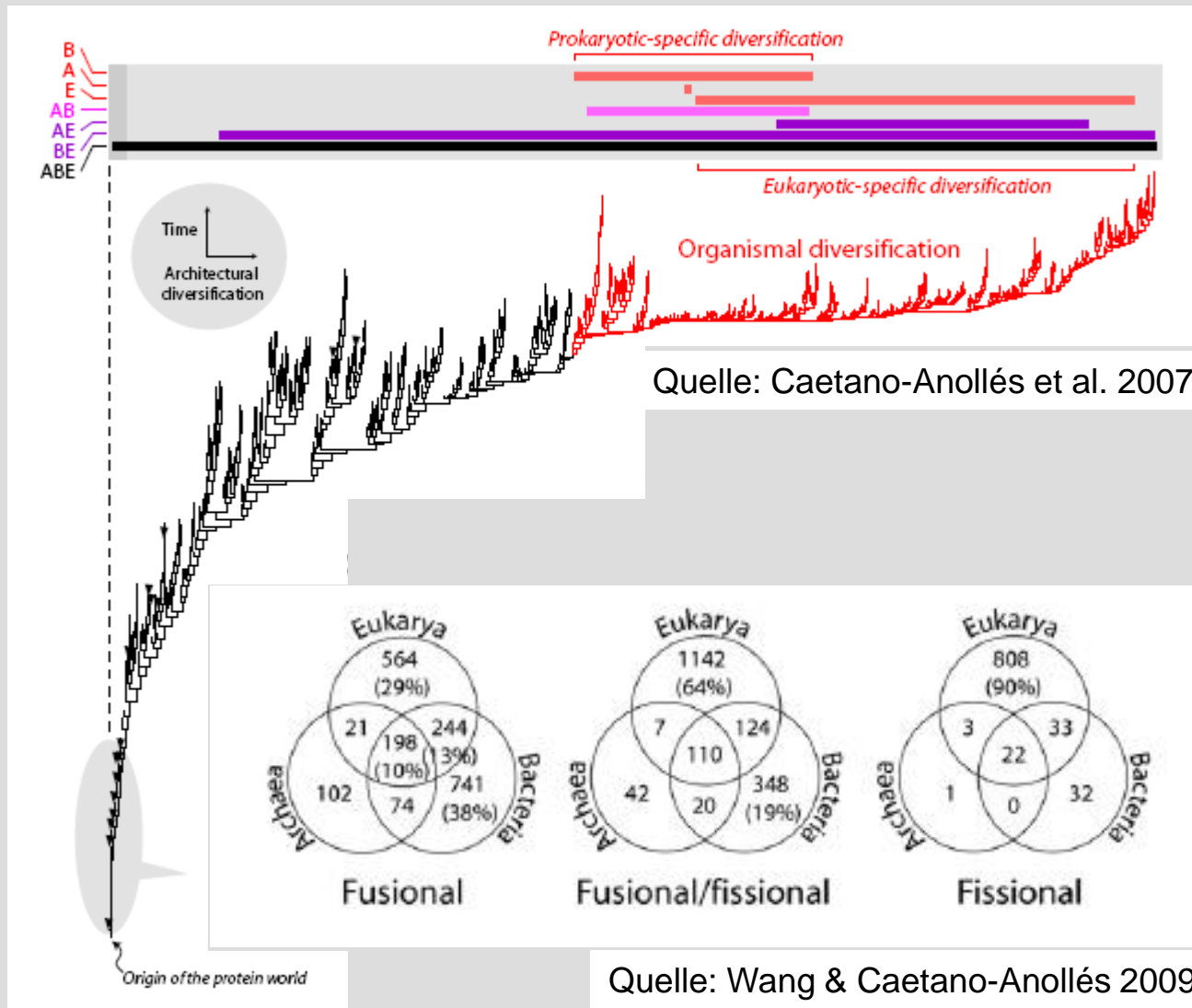
Morphologische Schimären mit noch diskutierter Genese



Quelle: Spang et al. 2015

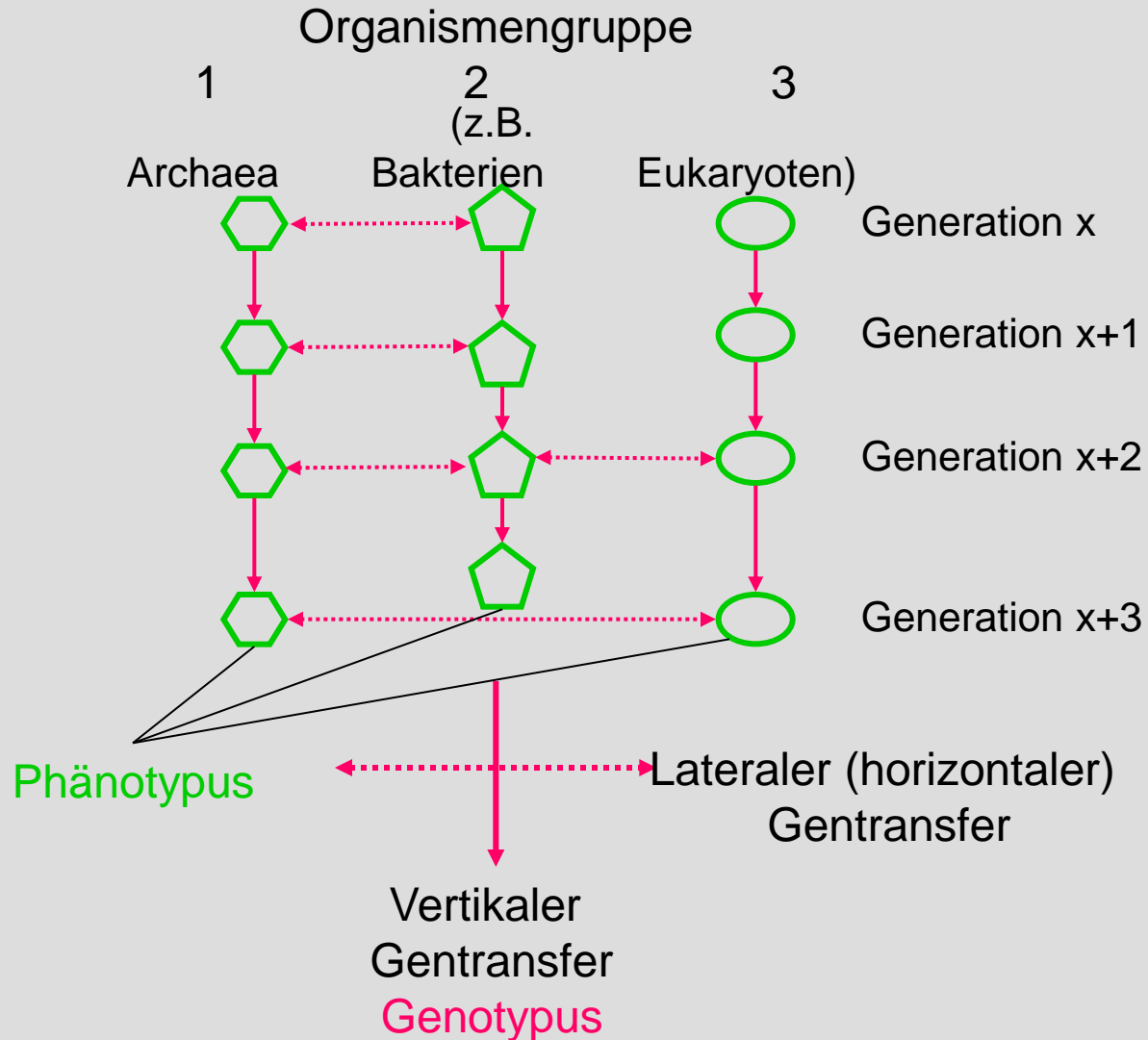
Quelle: Pisani et al. 2007

Faktoren der Vernetzung – a) Prä-zelluläre Evolution und Interaktion von Proteinen

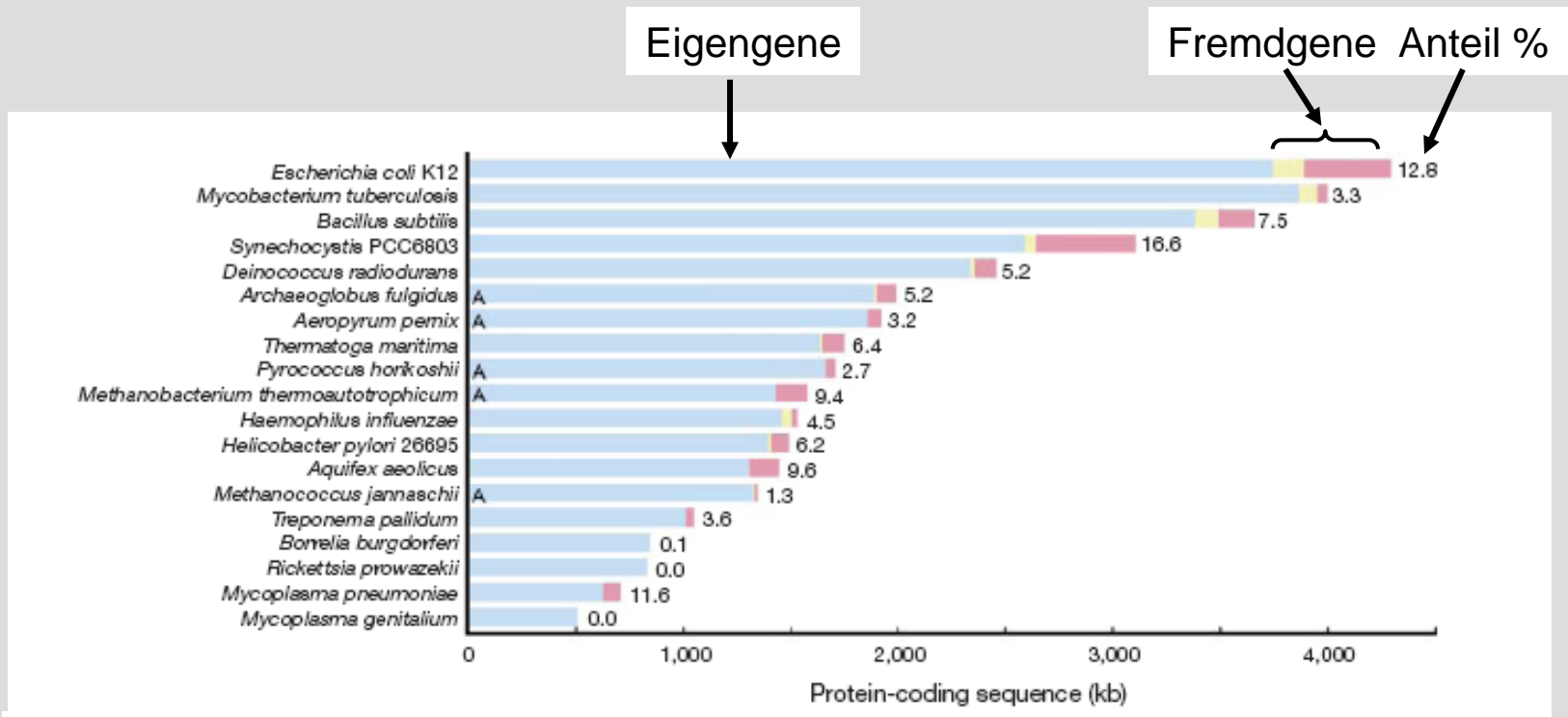


Quelle: Wang & Caetano-Anollés 2009

Faktoren der Vernetzung – b) Lateraler Gentransfer



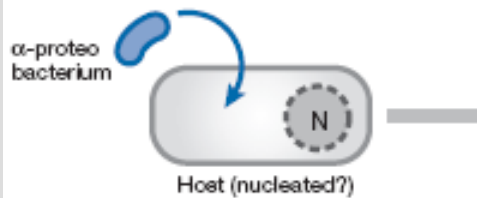
Beispiel Lateraler Gentransfer



Quelle: Ochman et al. 2000

Faktoren der Vernetzung – c) Endosymbiosen

Hypothesen über den Erwerb von Chloroplasten Erwerb von Mitochondrien

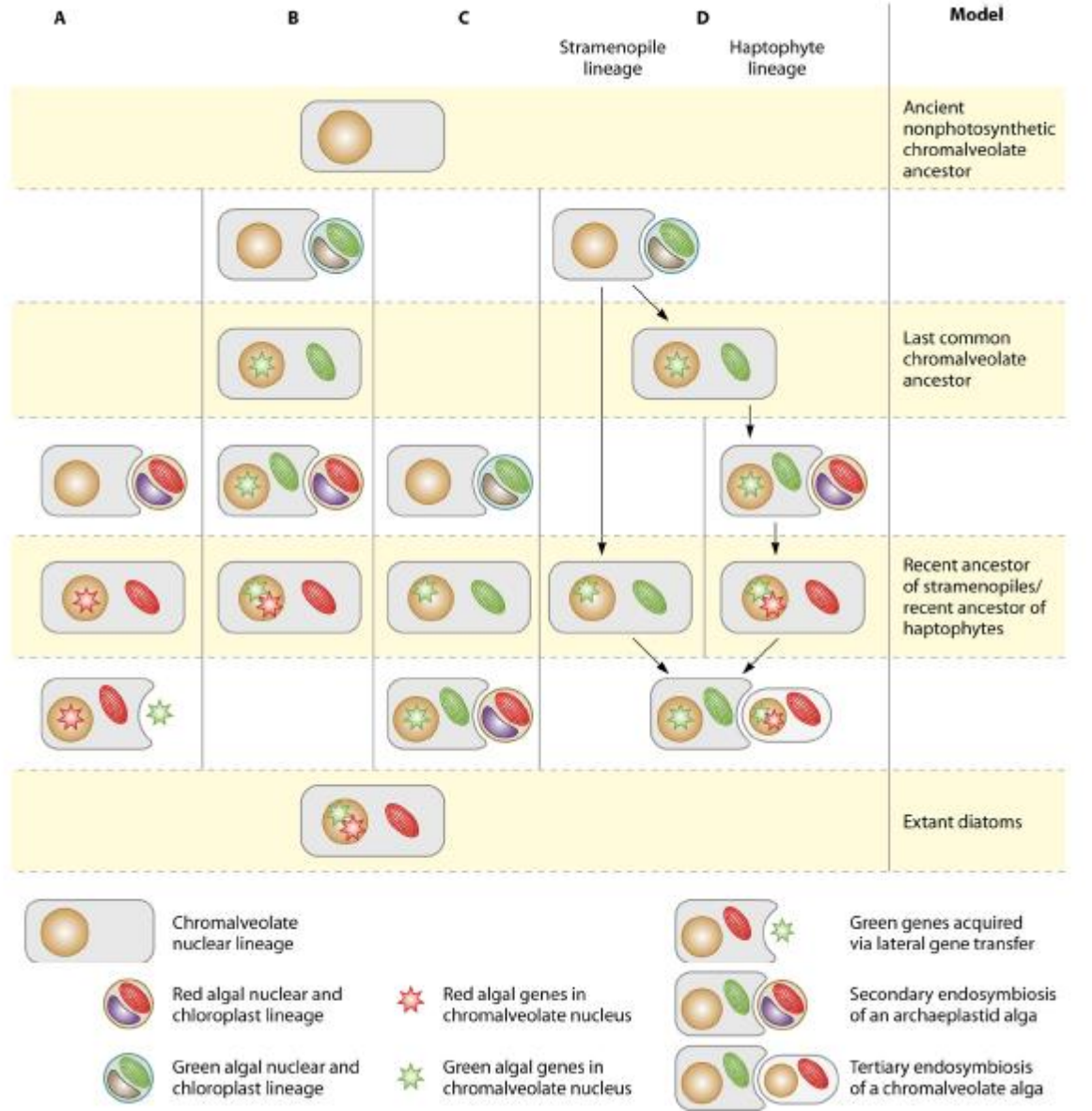


B
Loss of proto-mitochondrion

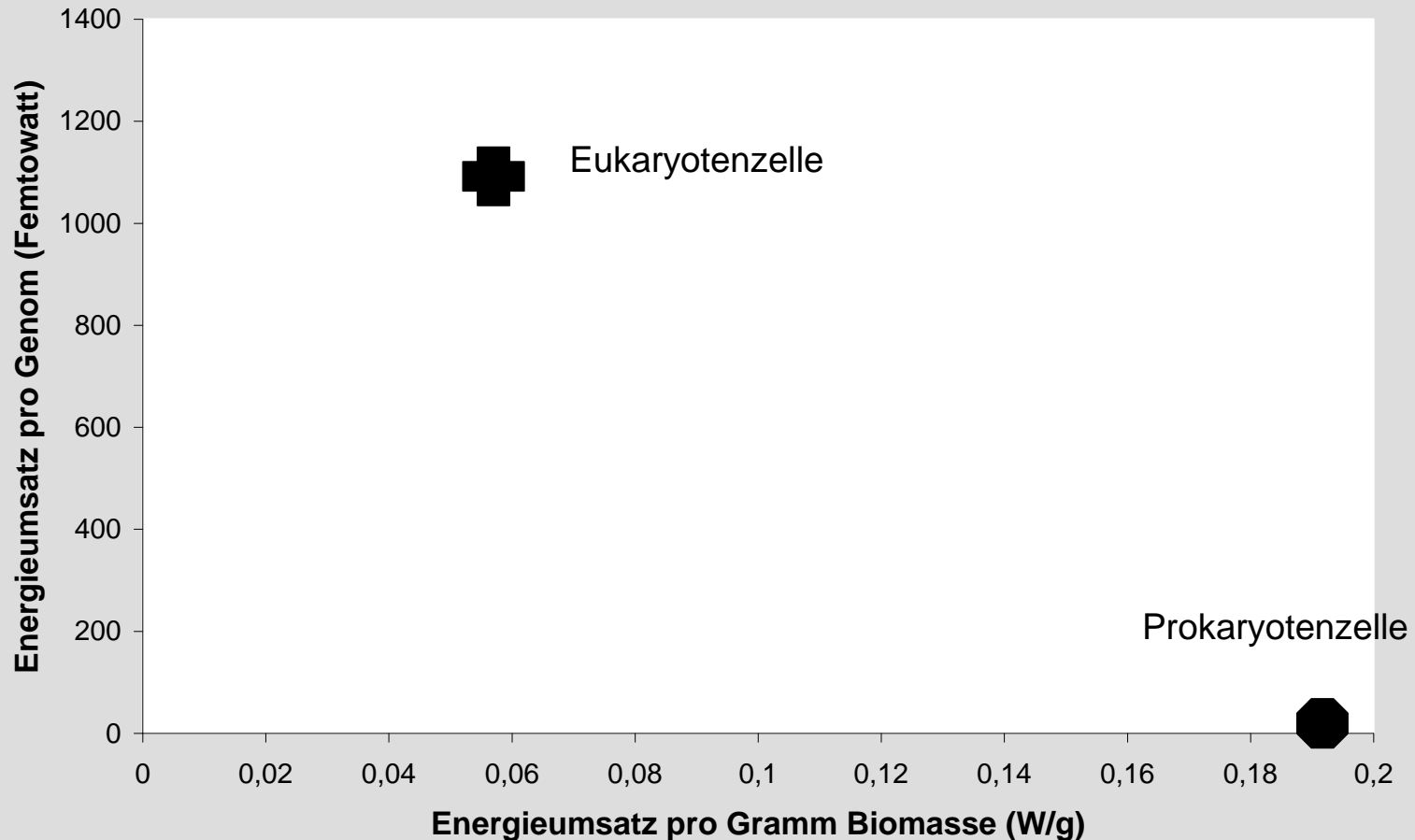
Anaerobic

Quelle:
Dorrell & Smith 2011

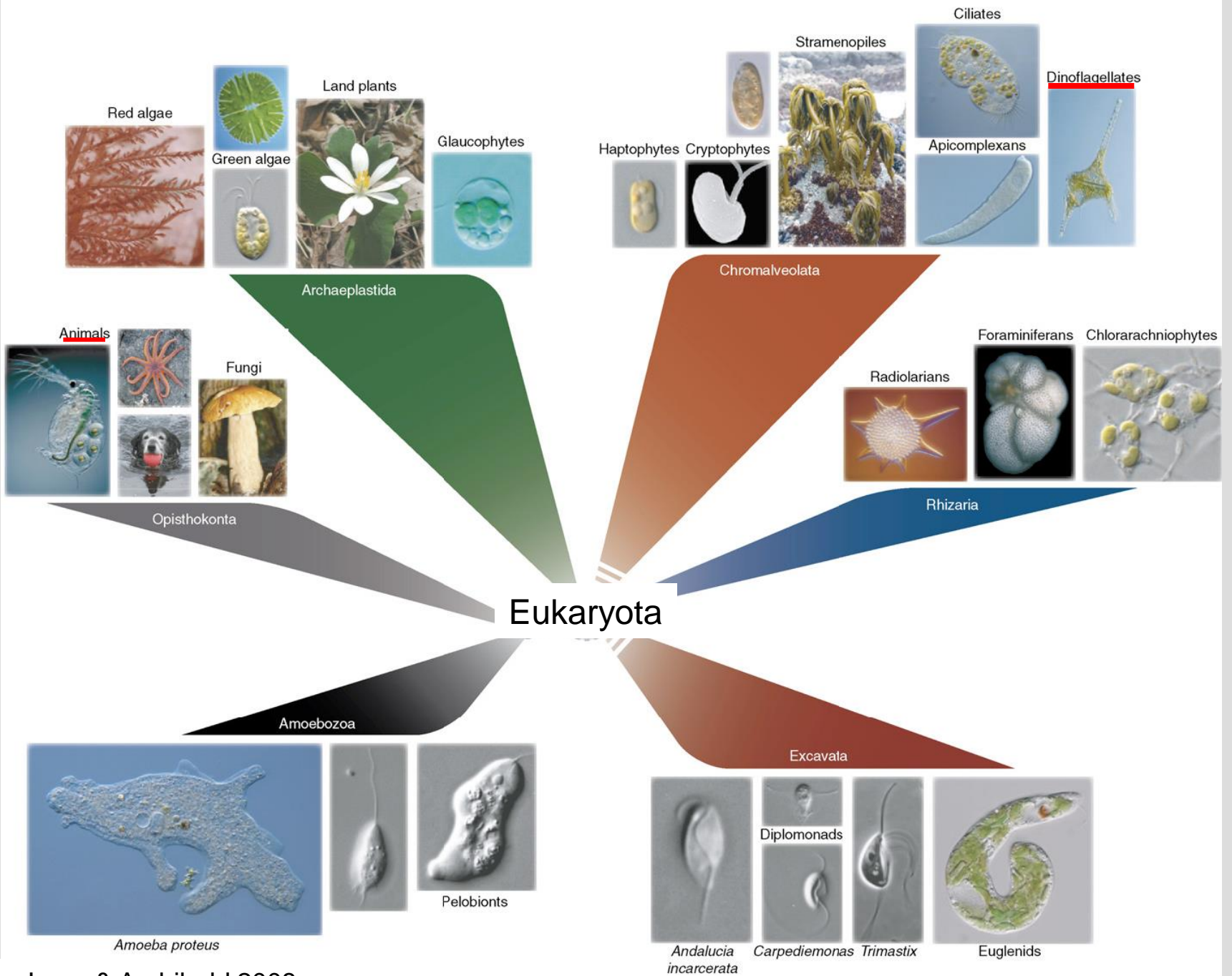
Quelle: van der Giezen & T



Spezifische Energie und Optionen für die morphologische Differenzierung



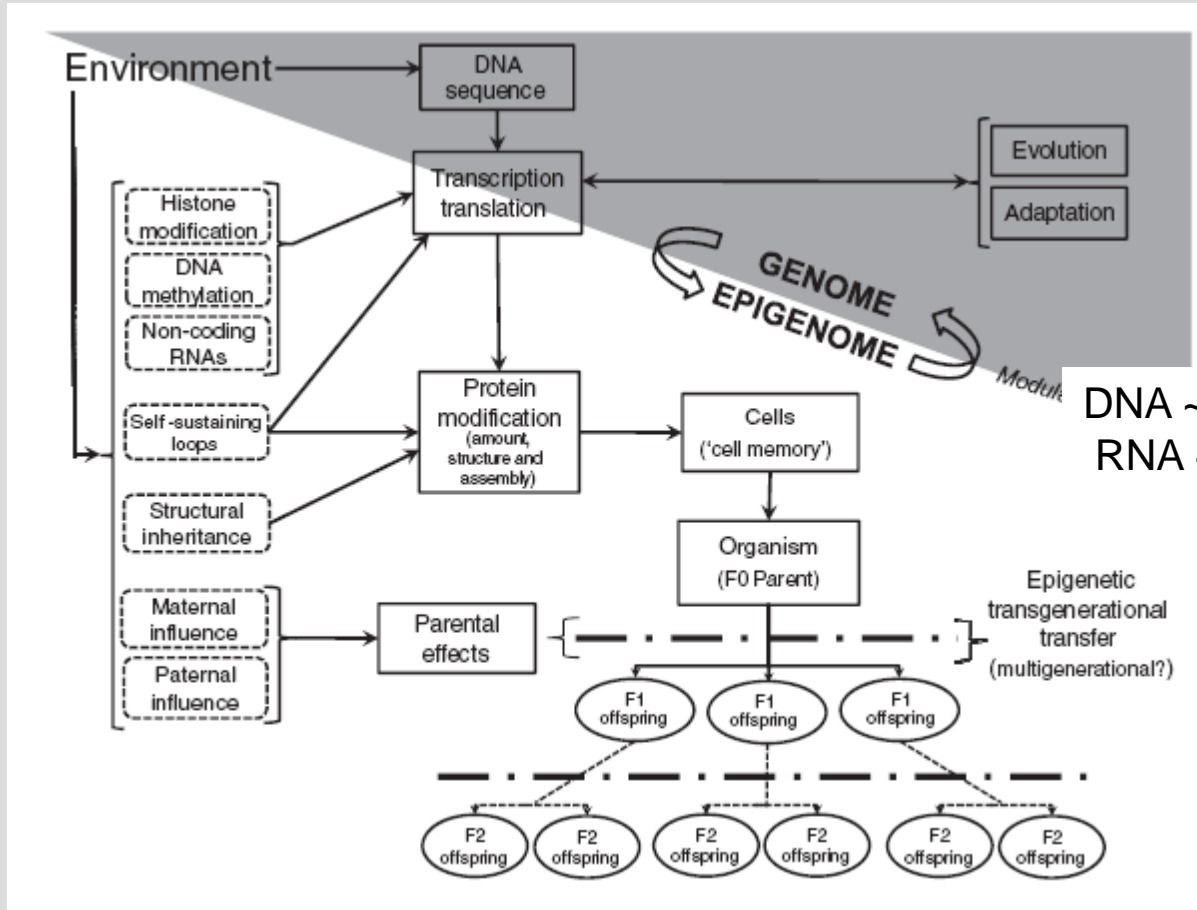
Quelle: Nach Daten aus Lane 2011



Quelle: Lane & Archibald 2008

Epigenetische Faktoren – interzelluläre und individuelle Anpassung an Rahmenbedingungen

Die aktuelle Interpretation der genetischen Regulation



ation

Protein

DNA ~ 1 Fehler pro 10¹⁰ Kop.
RNA ~ 1 Fehler pro 10⁴ Kop.

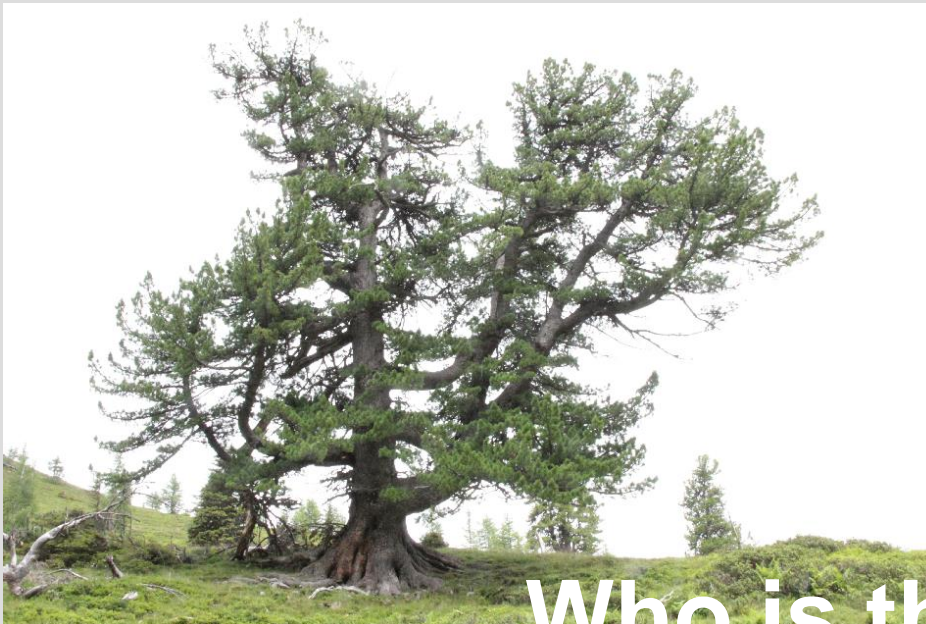


Quelle: Ho & Burggren 2010



Komplexität in der Evolution

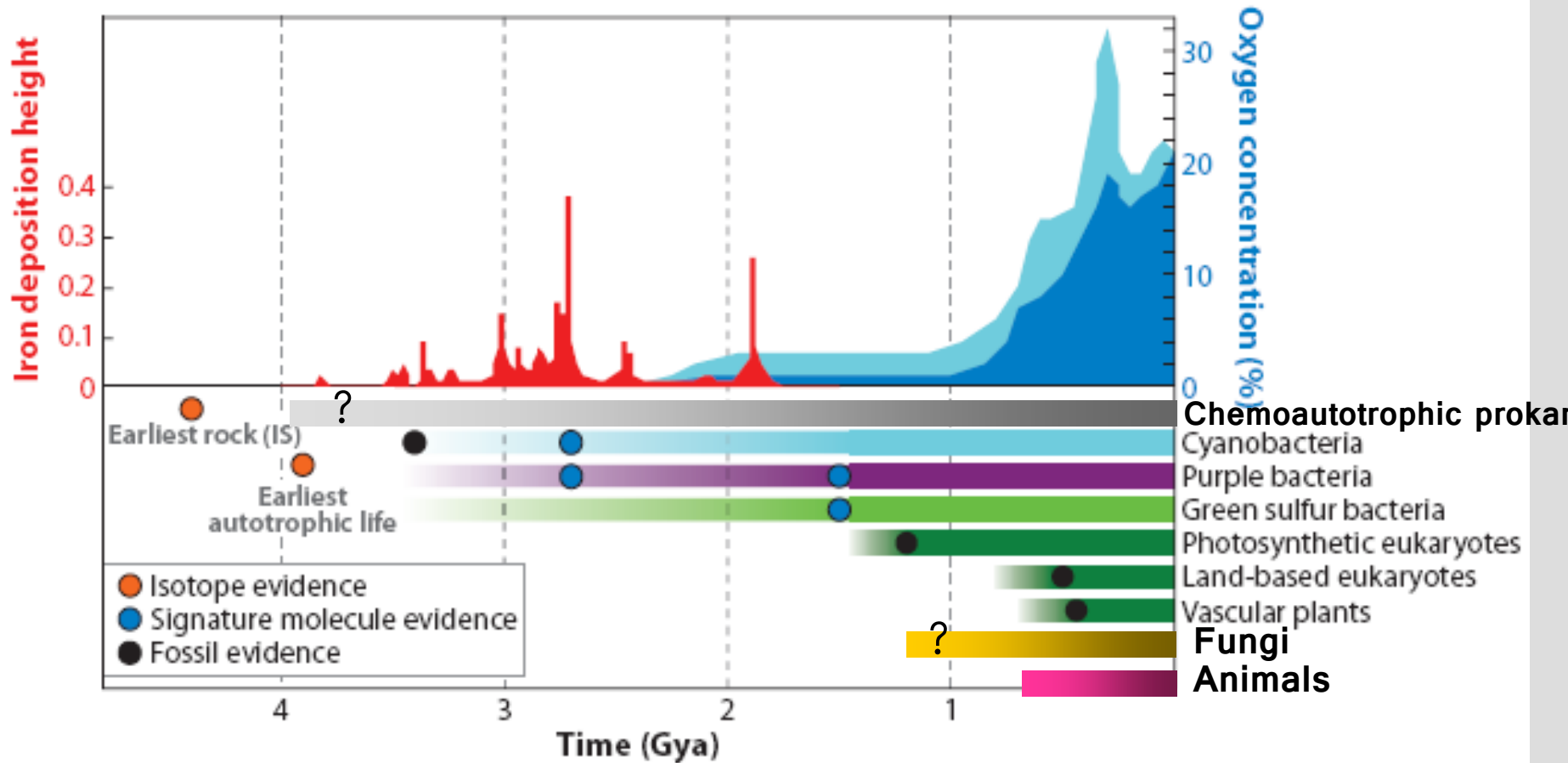
Ökosystemarer Kontext



Who is the fittest?

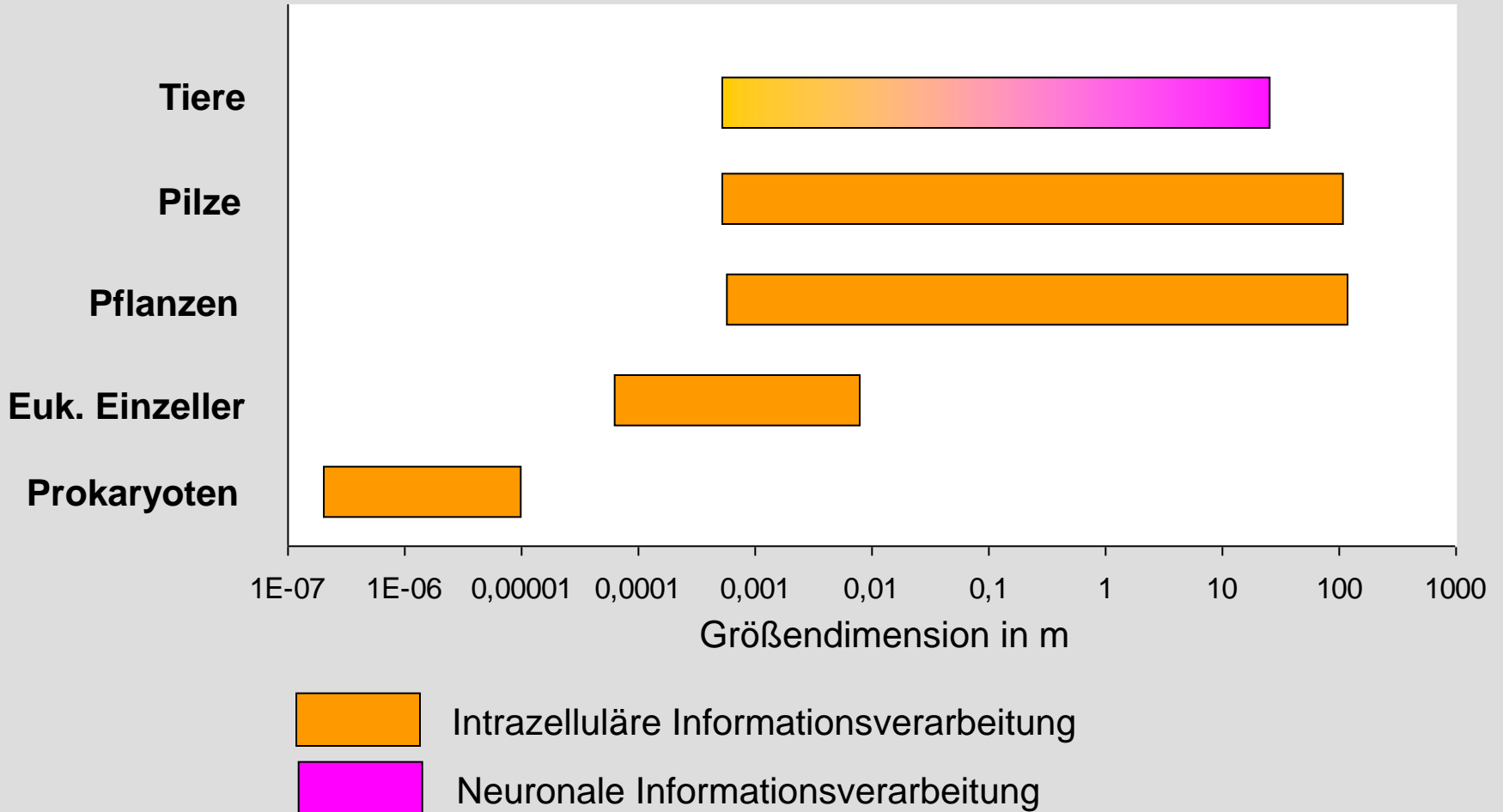


Evolution ist geprägt durch die zunehmende Überlagerung unterschiedlicher Lebensformen

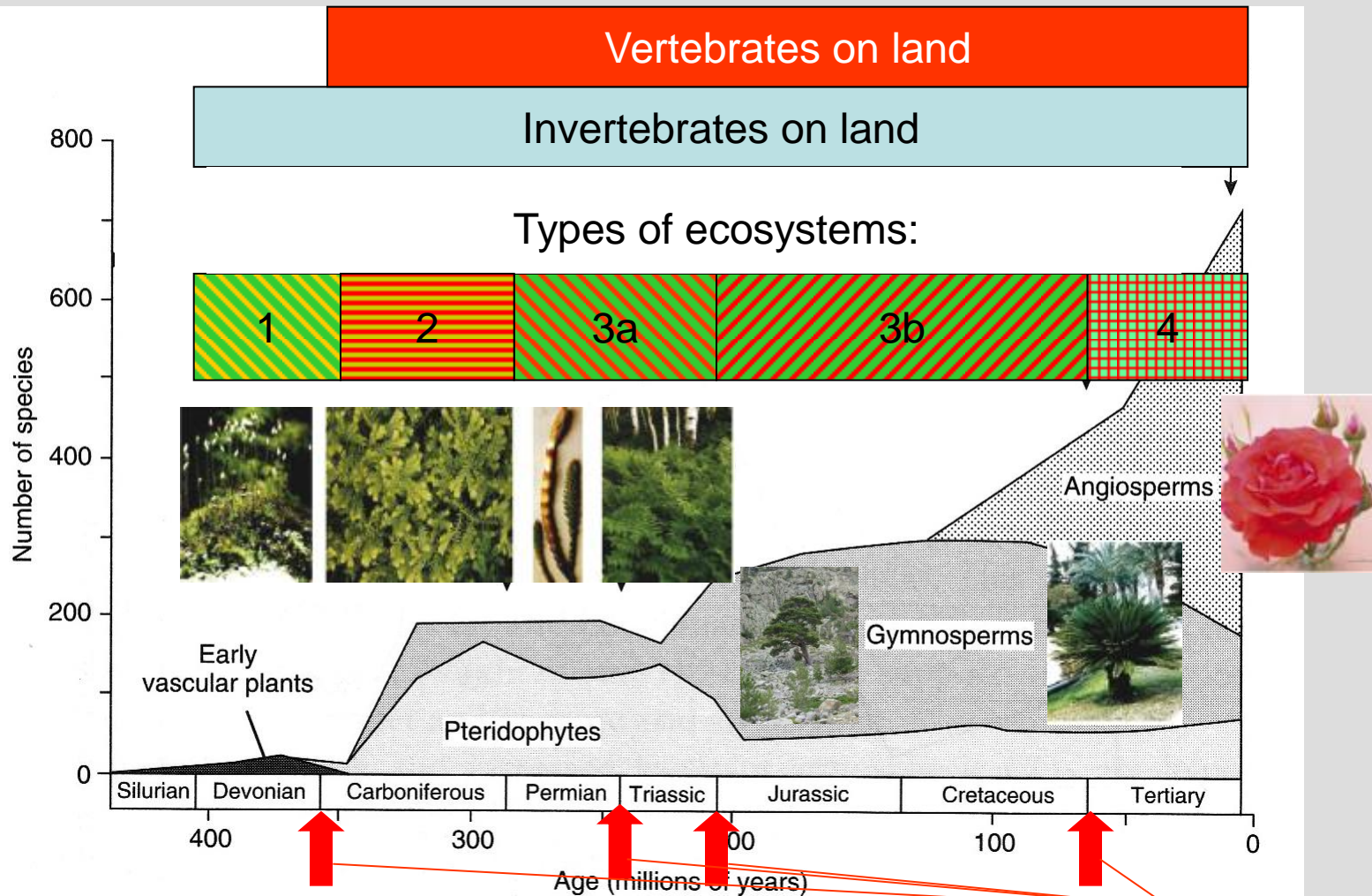


Source: Hohmann-Marriott & Blankenship 2011, modified

Vergleich von Systemen der Informationsverarbeitung und annähernden Größen unterschiedlicher Organismen



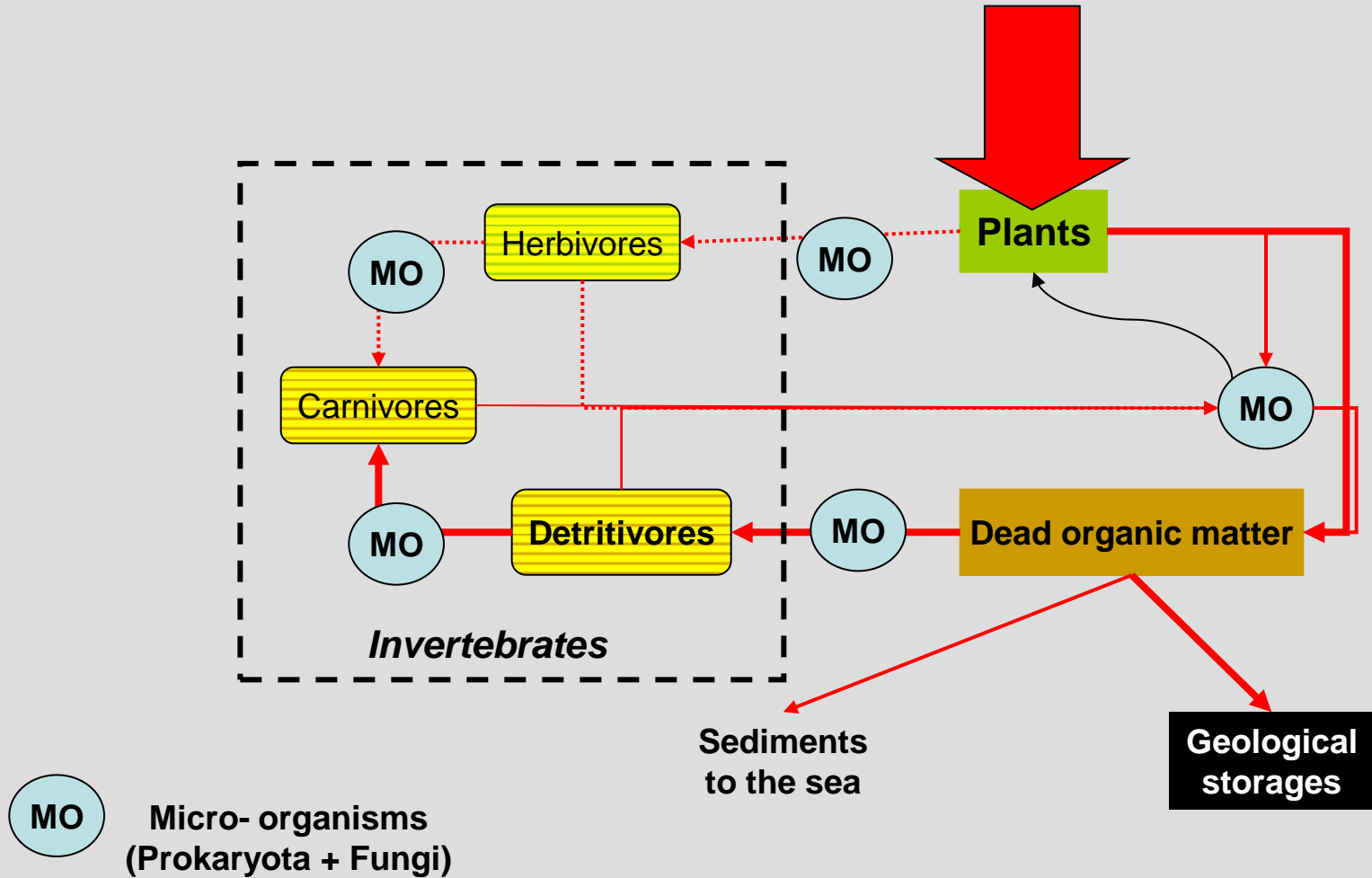
Entwicklung in äquifunktionalen Netzwerken – Beispiel terrestrische Ökosysteme



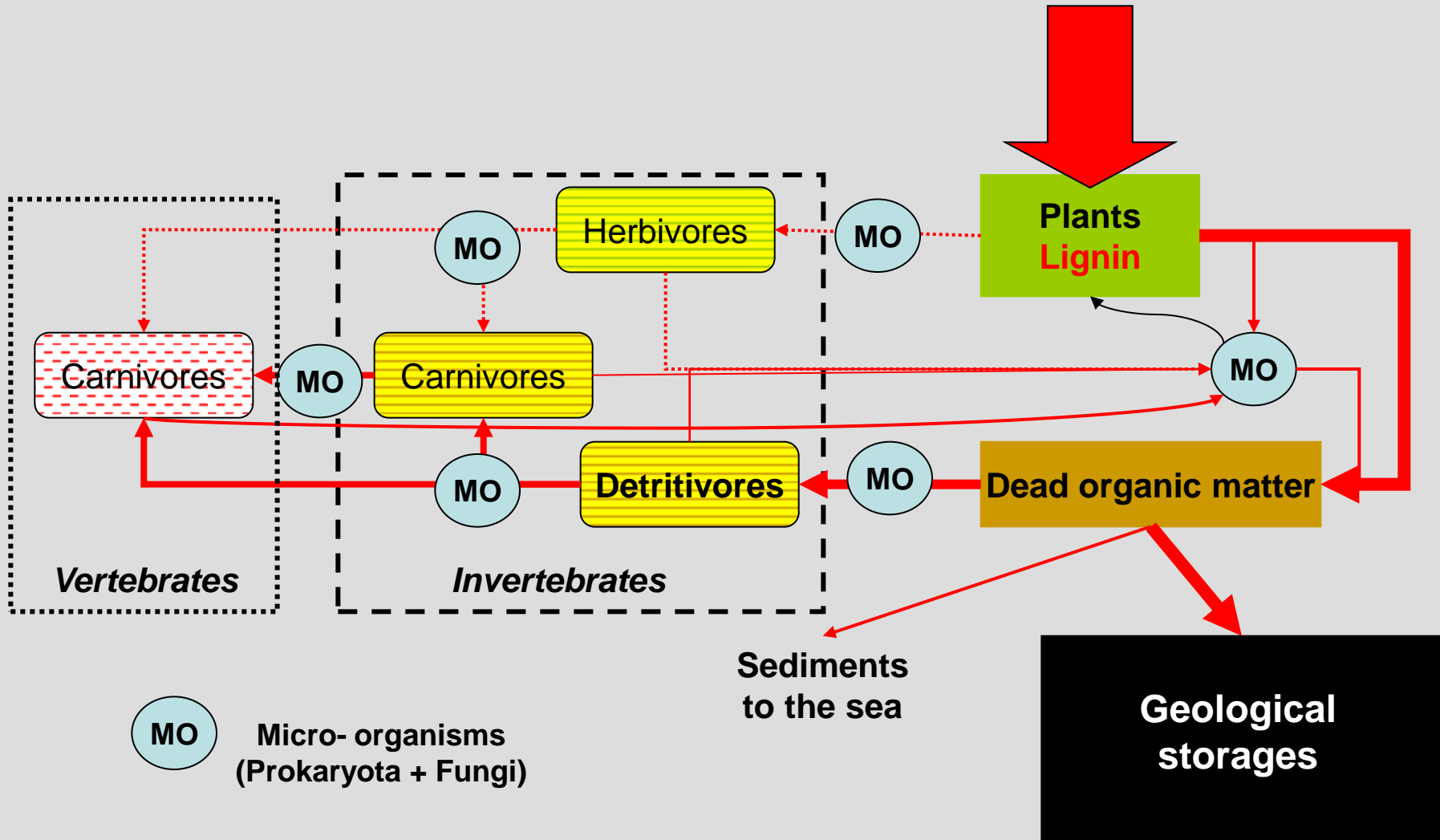
Sources: Willis & McEllwain 2002; Langdale 2008; modified

Grosse Artensterben

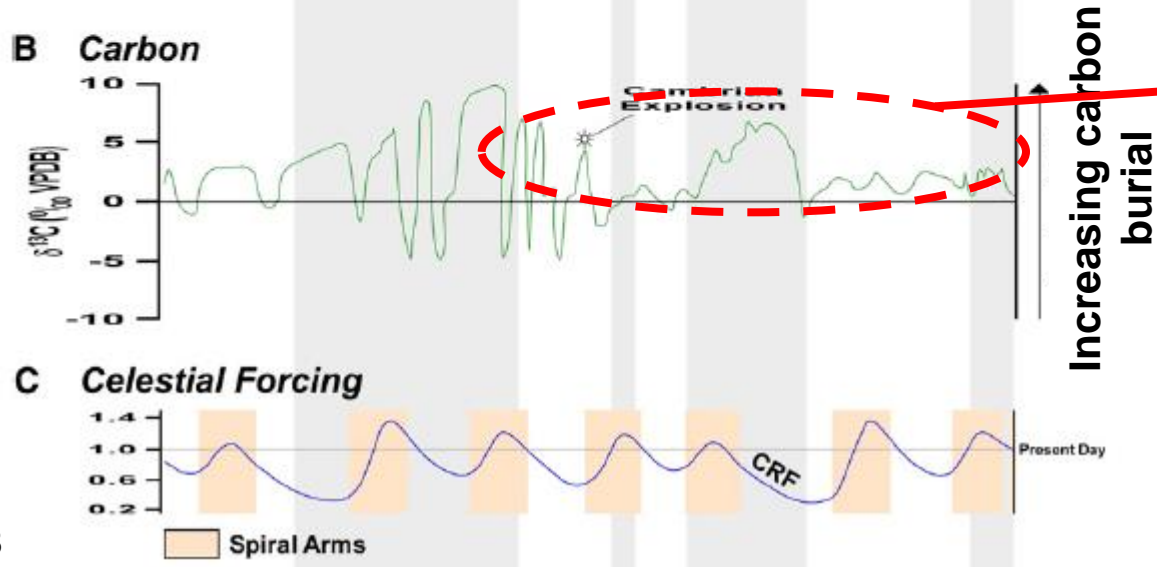
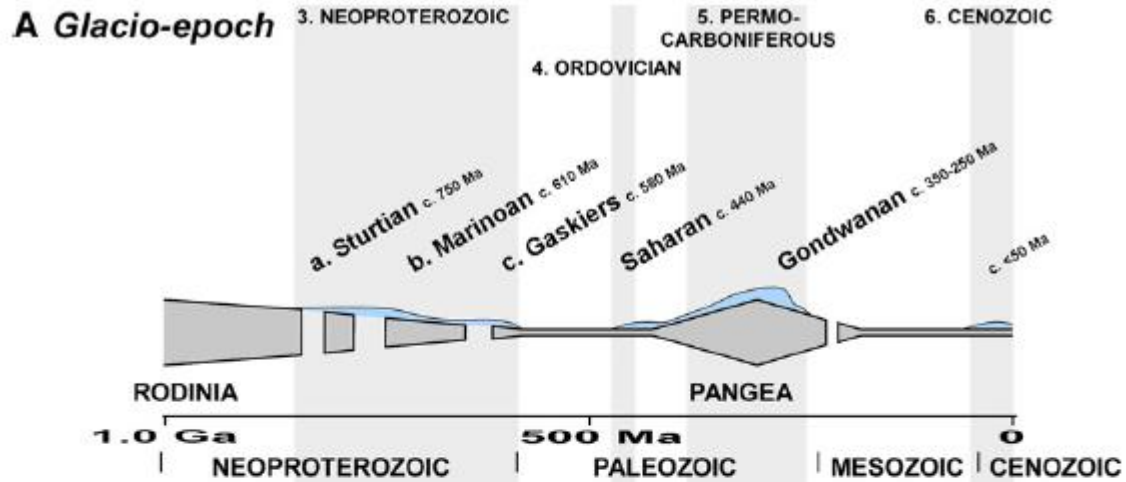
Typus 1 - Wirbellose



Typus 2 – Wirbellose und erste carnivore Wirbeltiere

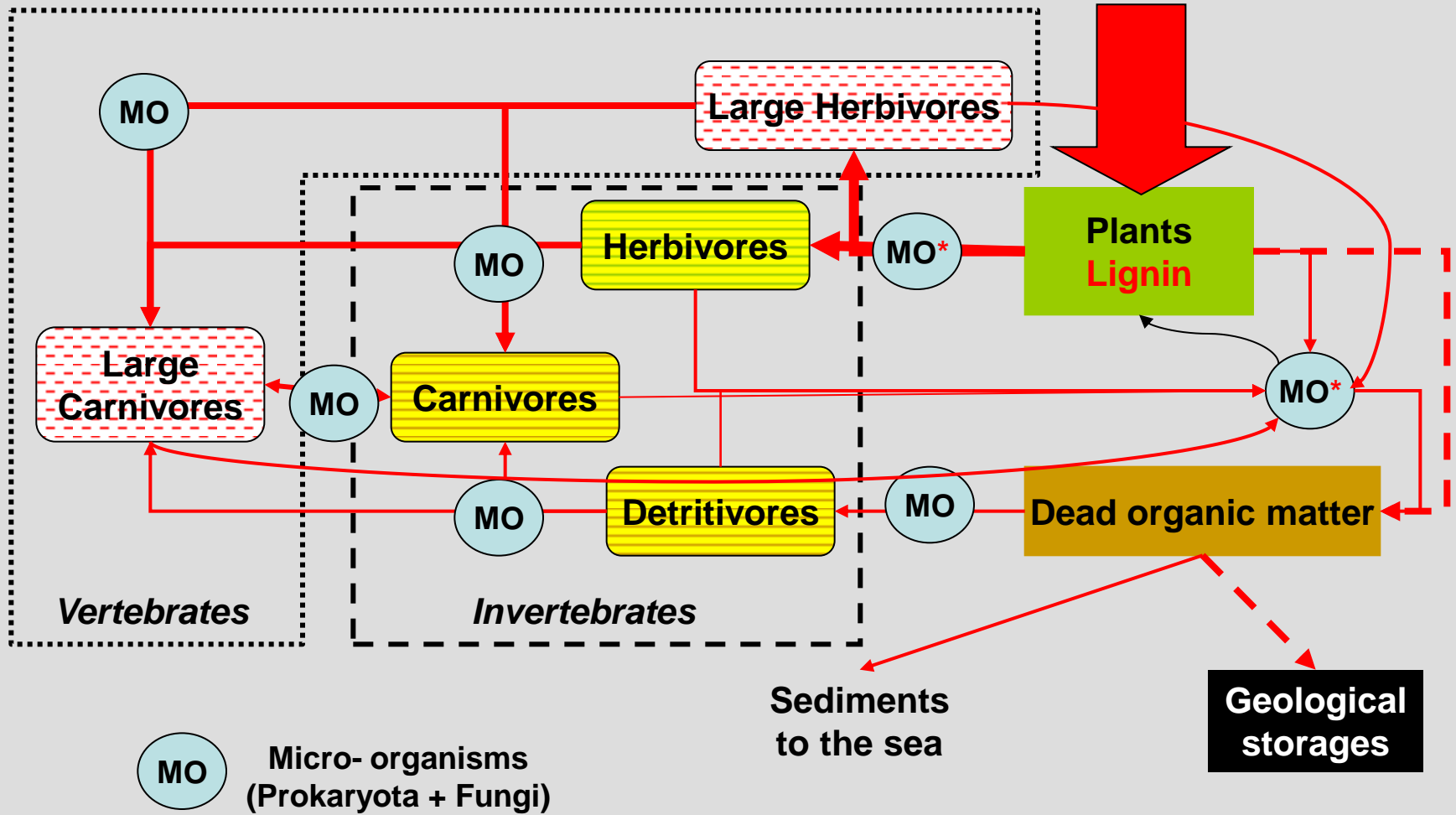


Rückwirkungen ökologischer Prozesse



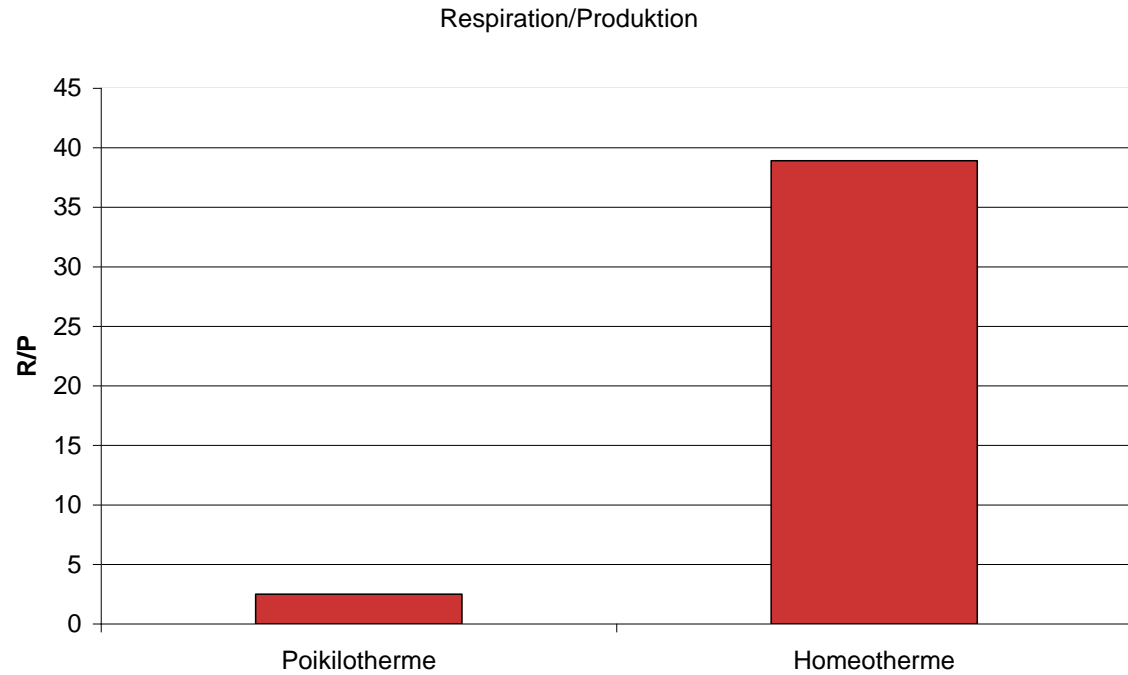
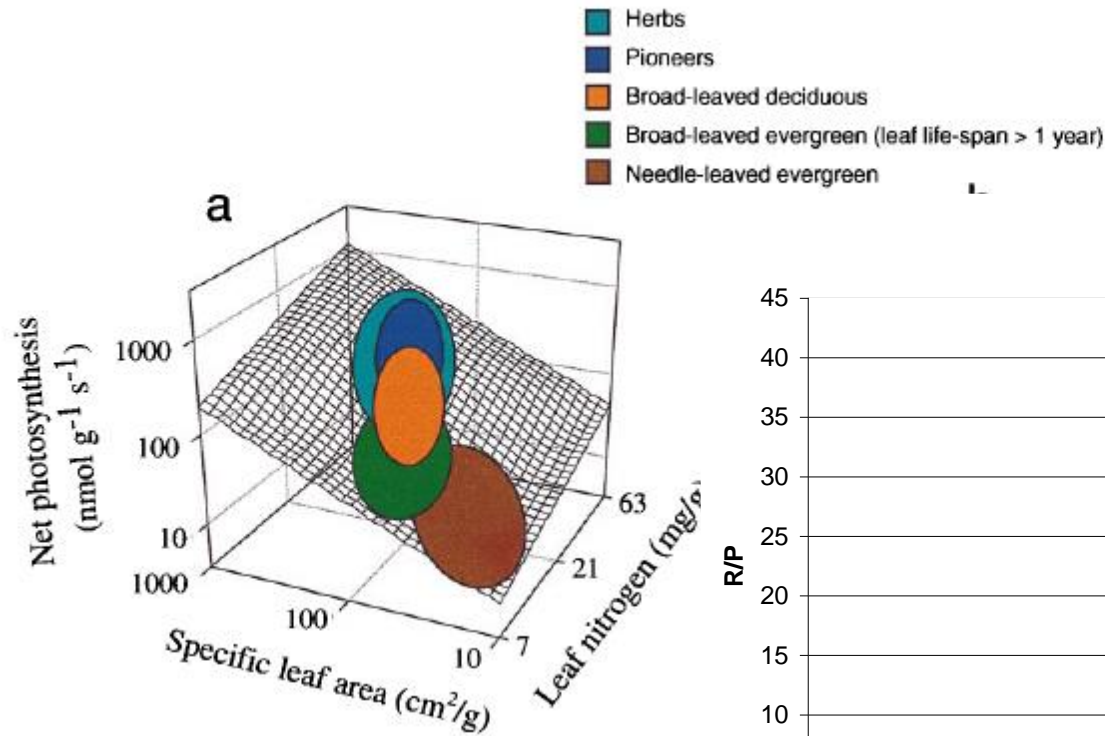
„Kohlenstoff-
erbe“

Typus 3 – Entwicklung großer Pflanzenfresser (Dinosaurier)



* Ligninase entwickelt

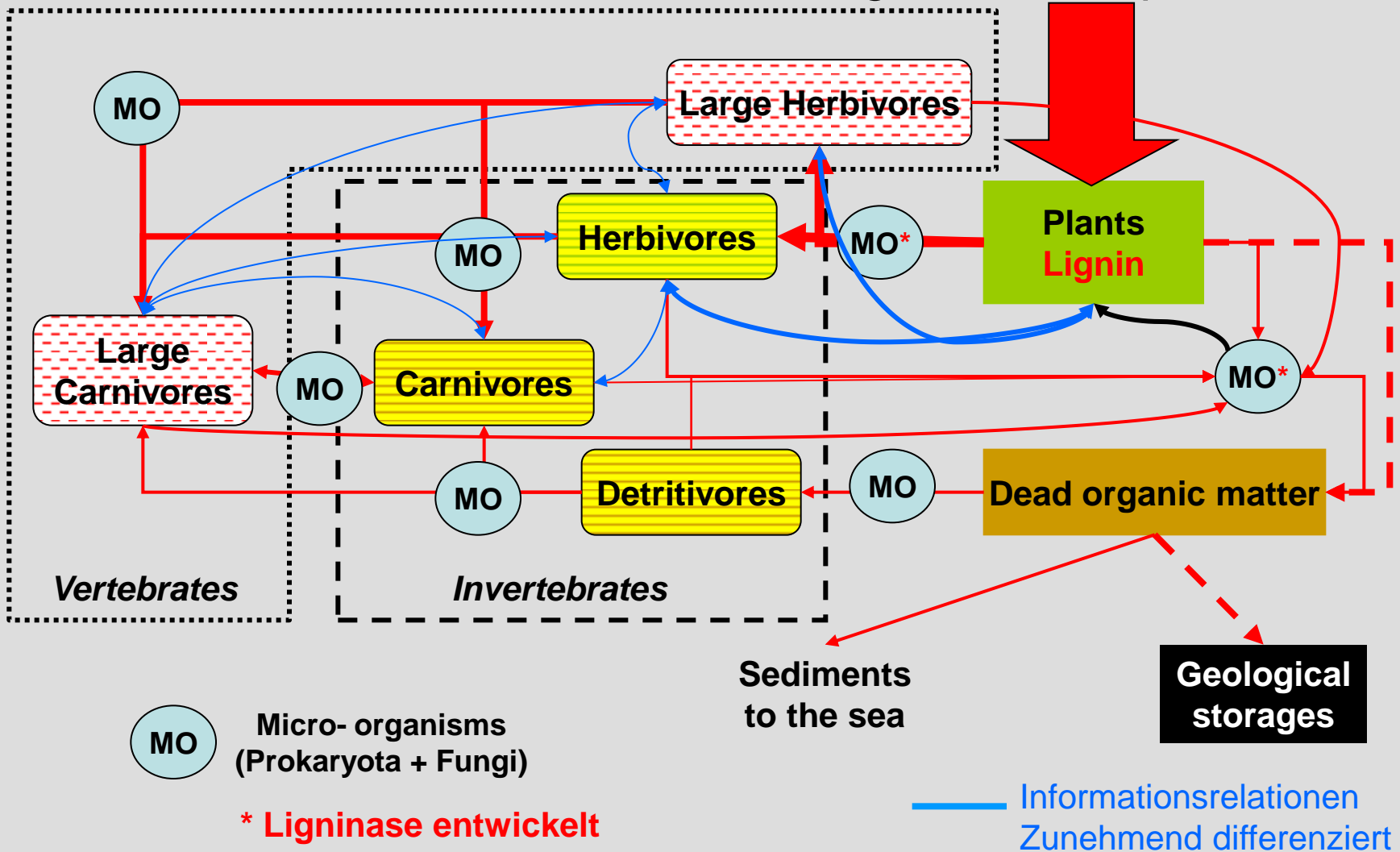
Eine Hypothese warum Dinosaurier so lange erfolgreich waren



Quelle: Reich et al. 1997

Datenquelle: Peters 1986

Typus 4 – Ausbreitung der informationsgeregelten Interaktionen durch die Entwicklung der Blütenpflanzen



Nutzung unspezifischer und spezifischer Informationen von Pflanzen

**“Forest honey” – from excreta of randomly tree sucking wood lice with no energetic benefit for the plant
Ecosystem 3 (cretaceous) mode**

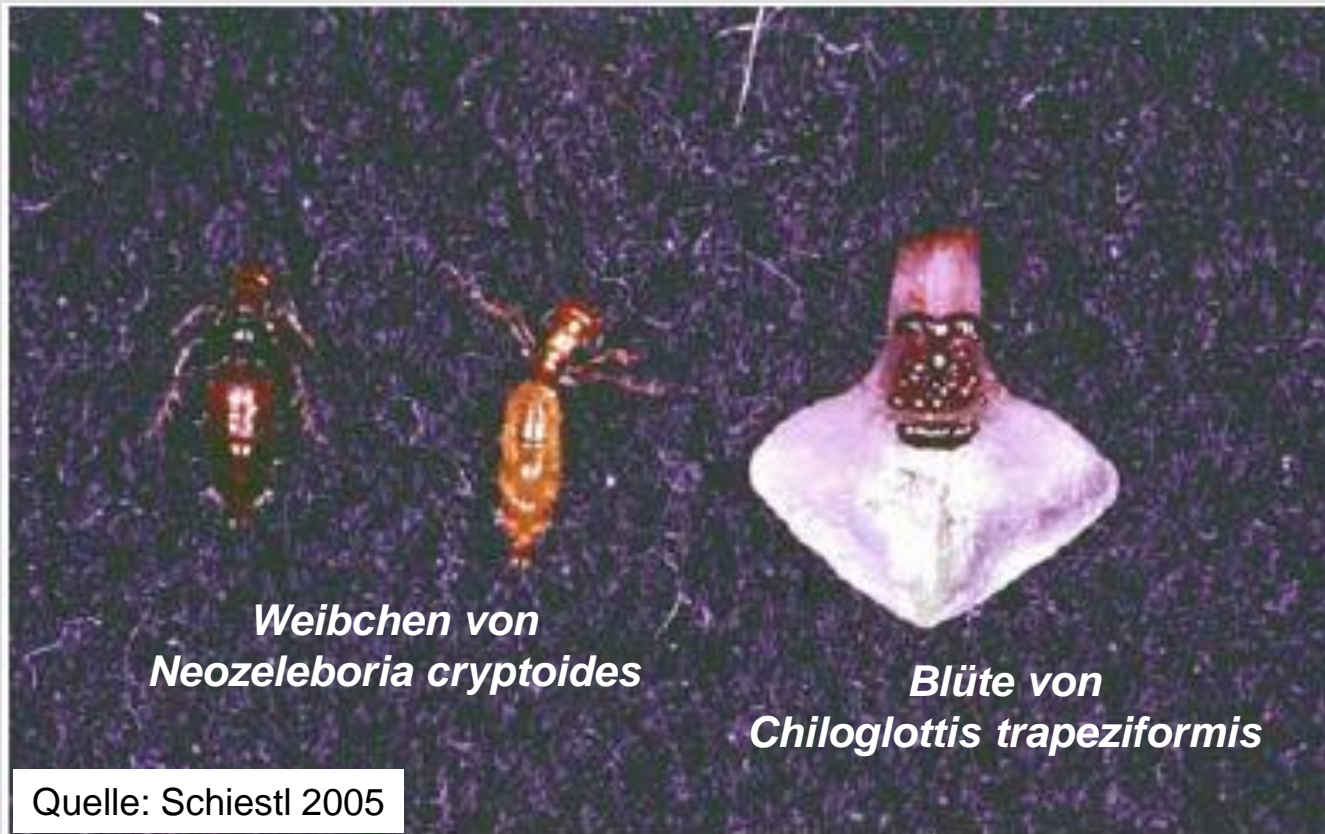


Source: Frank Mikley

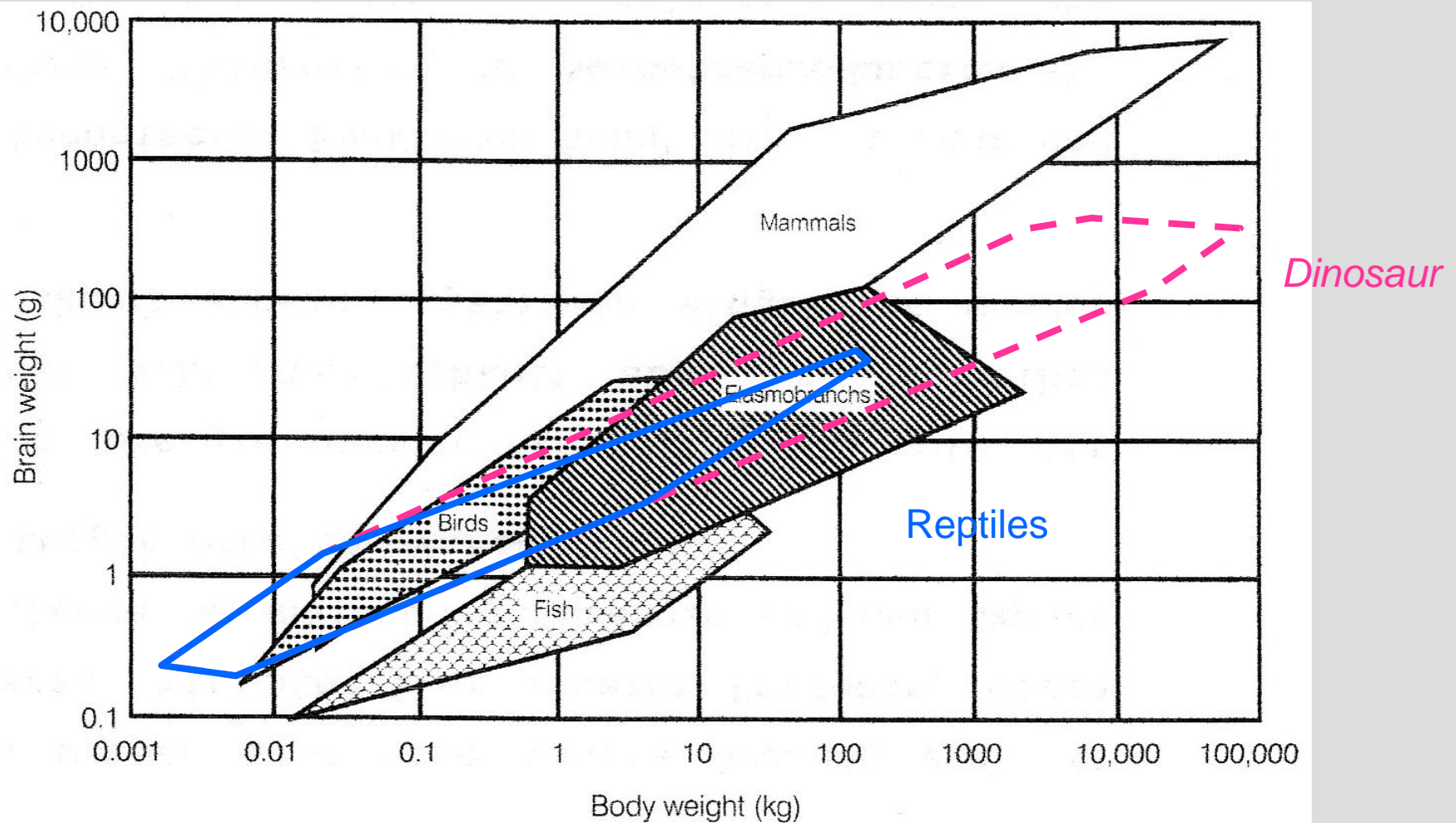
**“Flower honey” – from nectar, offered directly by plant signals (flowers) in exchange to pollination
Ecosystem 4 (tertiary) mode**



Wie übertreffen Taubblinde ihre Vorbilder mit ihrer Nachahmung?
Sexuelle Mimikry einer Orchidee

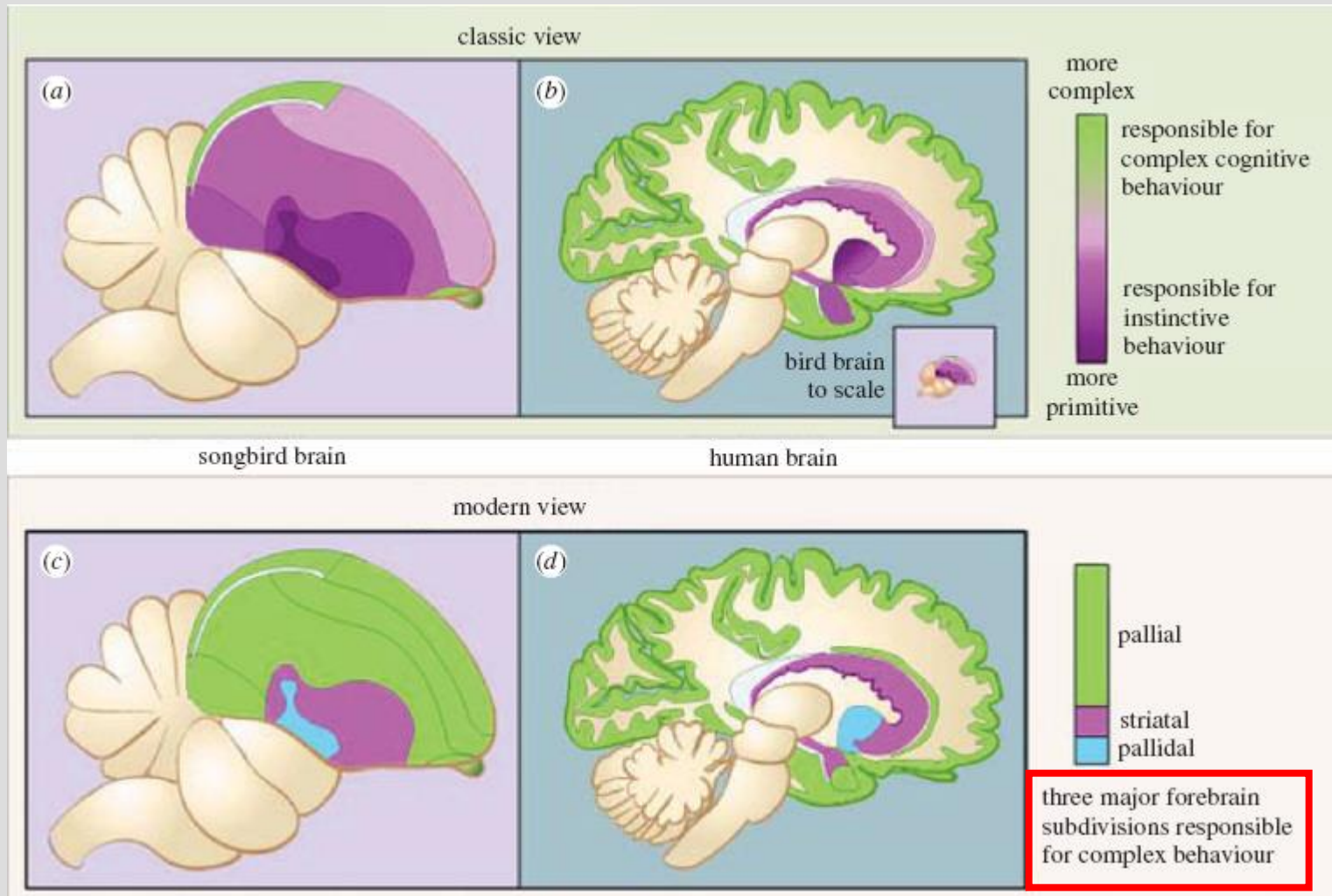


Auswirkungen auf die Gehirnentwicklung bei Vertebraten

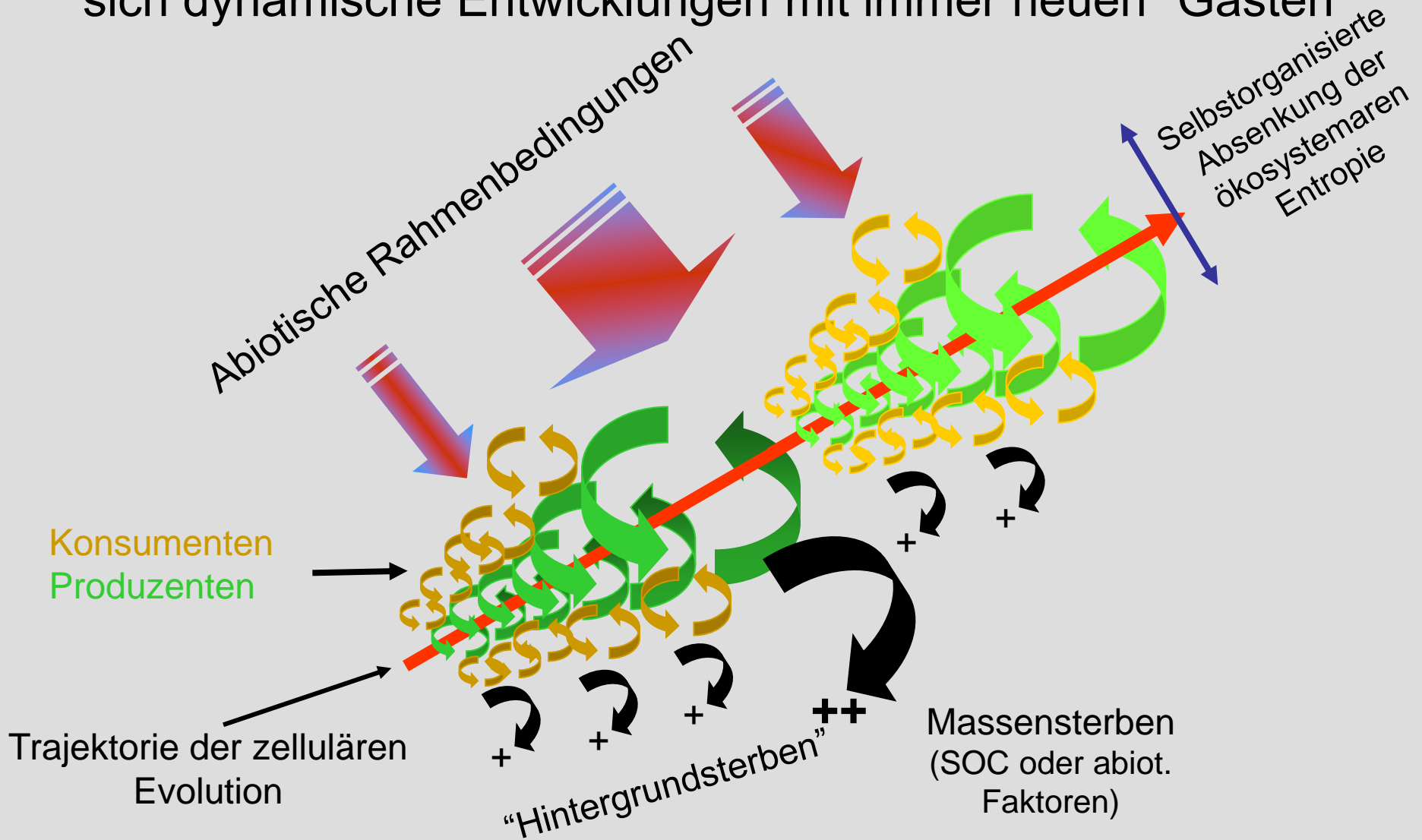


Source: Helfman et al. 2009, modified after Jerison 2004

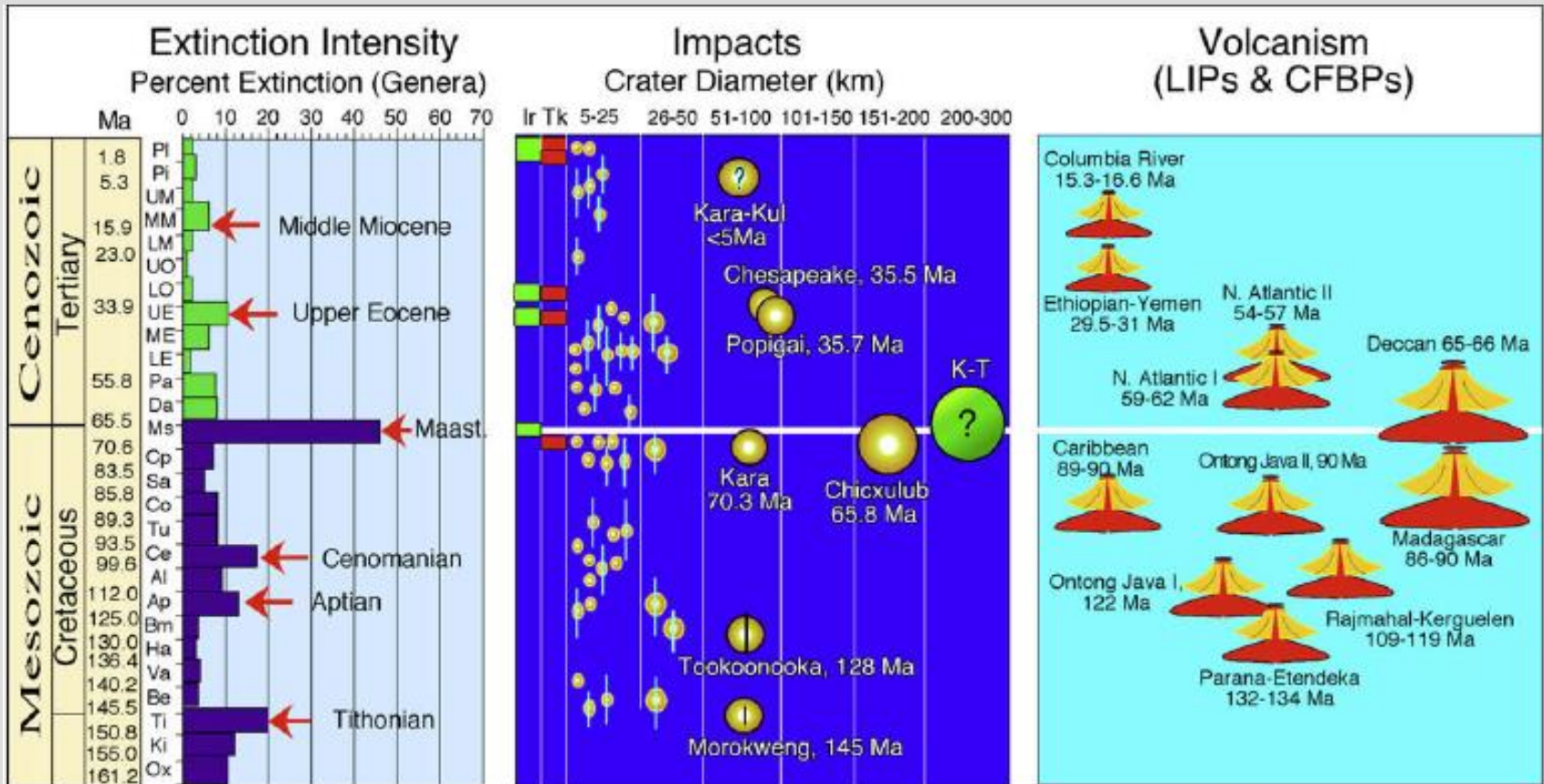
Anatomische Unterschiede sind kleiner als vermutet



In den zeitlichen Dimensionen der Evolution wiederholen sich dynamische Entwicklungen mit immer neuen "Gästen"



Beispiele unvorhersehbarer abiotischer Rahmenbedingungen Vulkanausbrüche, Meteoriteneinschläge



Source: Keller 2008

LIP = large igneous provinces
CFBP = continental flood basalt pr.

Beispiel

Abmessungen

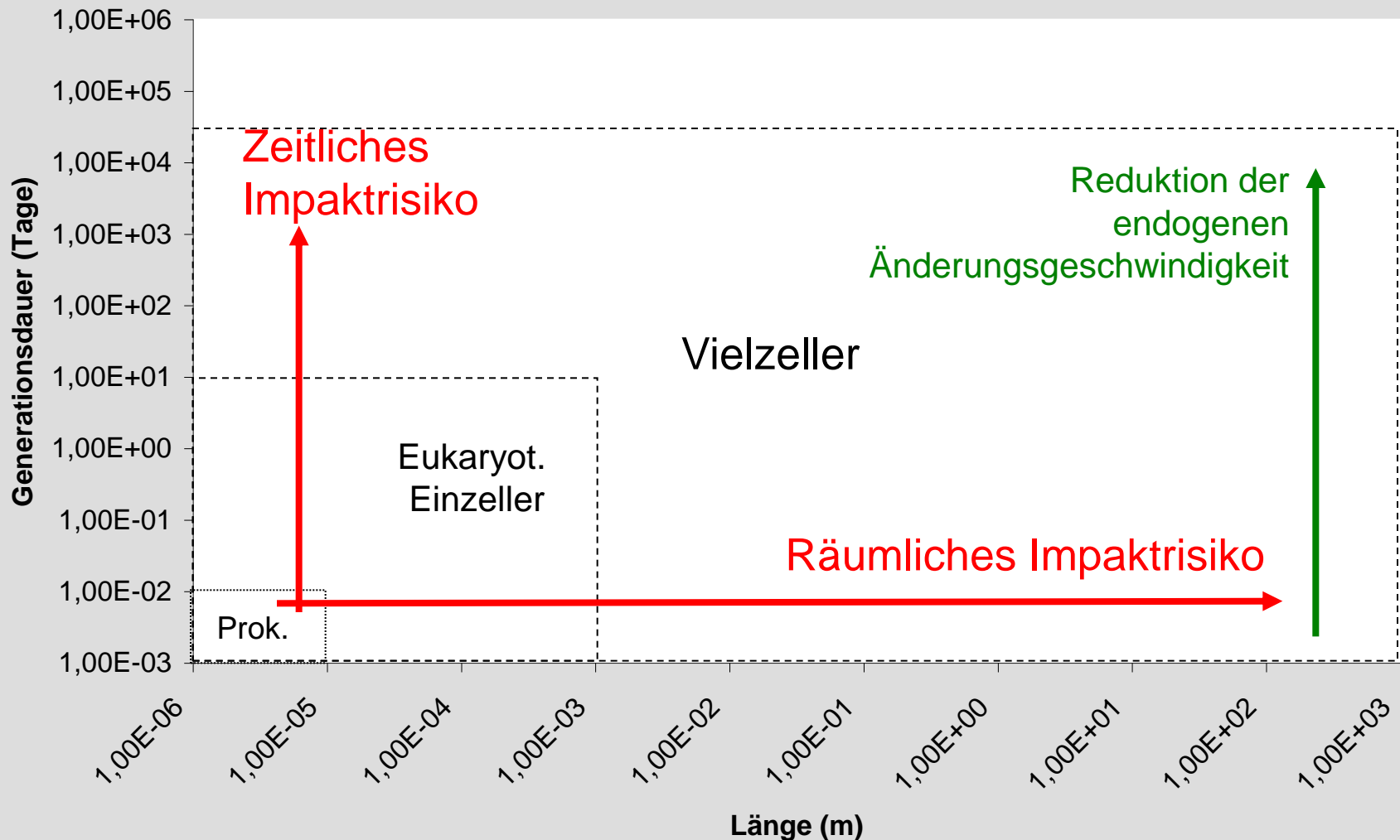


Wurzeralm

Grundregeln der ökologisch-evolutionären Integrationsprozesse

- a) Jeder Organismus tritt in die Integrationsprozesse auf seiner individuellen Skala ein – basierend auf den jeweiligen Potenzialen zur Verbesserung der Stoff- und Energiebilanzen
- b) Integrationsprozesse verlaufen erfolgreich, wenn Stoff- und Energieflüsse für alle beteiligten Organismen im dynamischen Gleichgewicht bleiben
- c) Integrationsprozesse beruhen auf der parallelen Interaktion n-dimensionaler Oszillationen der beteiligten Organismen
- d) Jede Störung oder Unterbrechung der Stoff- und Energieflüsse induziert einen neuen Integrationsprozess
- e) Teilsysteme mit der größten Kontinuität der Stoff- und Energieflüsse bestimmen – für die Dauer der dafür relevanten Rahmenbedingungen – die Entwicklung der Gesamtsysteme

Warum sind kleine Organismen persistenter als große?



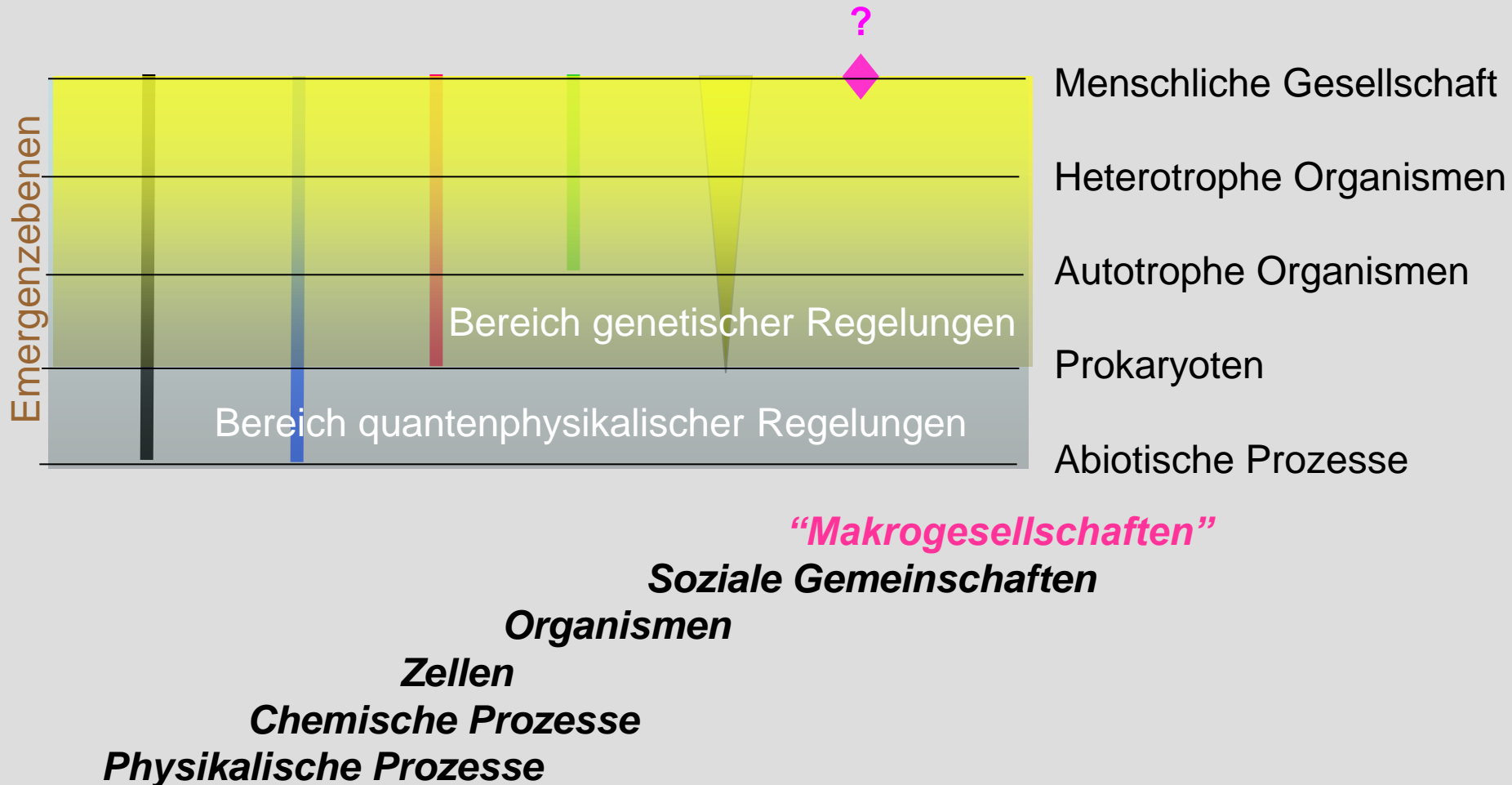
Chancen und Risiken unterschiedlicher Lebensformen

- Organismen können durch Interaktion in Ökosystemen abiotische Prozesse verändern, aber nicht überwinden
- Mikroorganismen sind ubiquitäre Regulatoren ökologischer Prozesse
- Viele Mikroorganismen können ungünstige Umweltbedingungen in Form von Dauerstadien langfristig überstehen (bis zu 10^6 Jahren)
- Das langfristige Überleben größerer Metazoa hängt direkt von der ausgewogenen Dynamik der Energie- und Nährstoffflüsse ab
- Erfolgreich - aus der langfristigen Perspektive der Evolution – sind Mikroorganismen und Detritivoren („Müllsammler“), z.B. Pilze, Milben, Regenwürmer

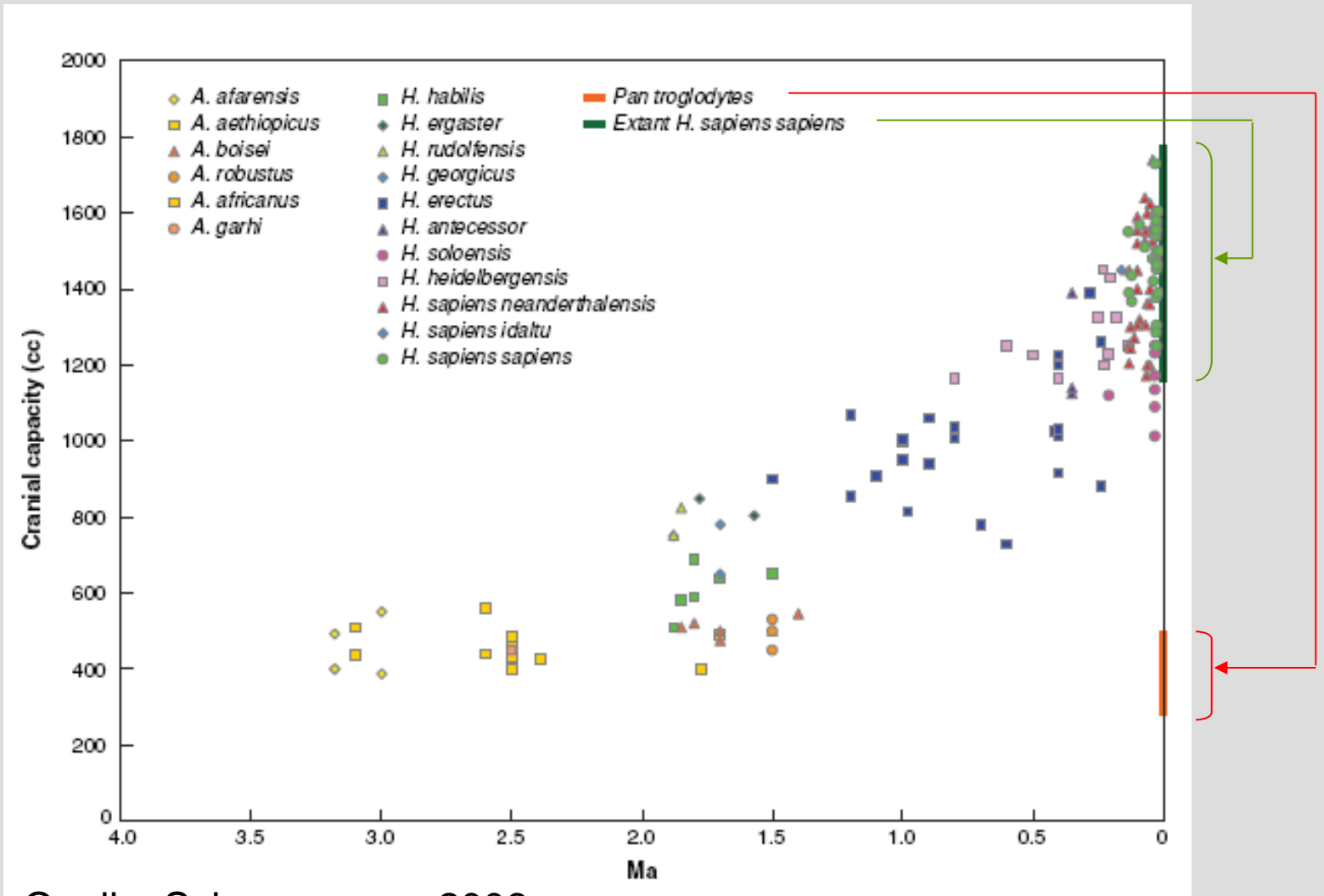
Komplexität in der Evolution

Menschliche Gesellschaft

Die auffällige Besonderheit der Selbstorganisation in menschlichen Gesellschaften

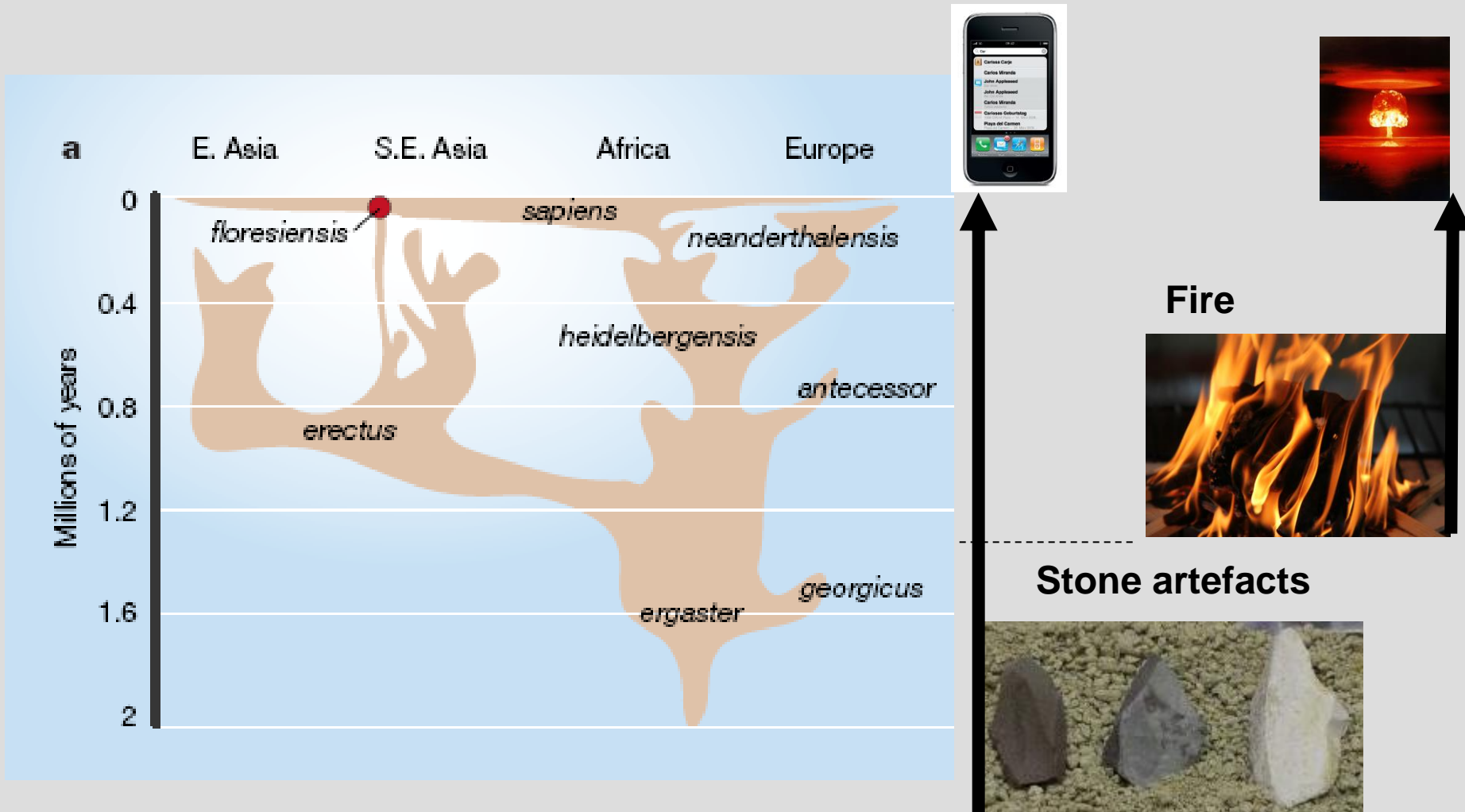


Zunahme der Gehirnvolumens im Vergleich zu Schimpansen



Quelle: Schoenemann 2006

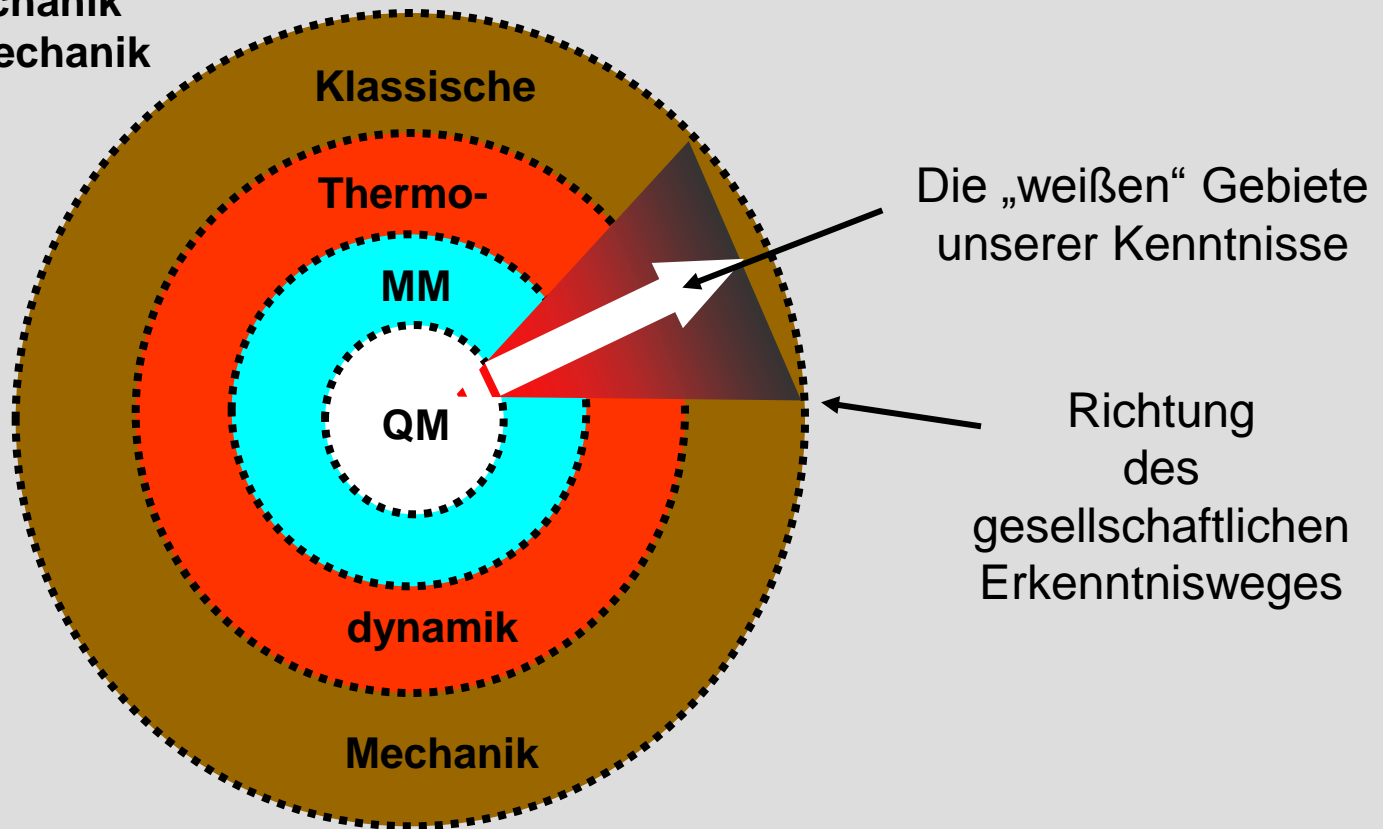
Technologische Entwicklungen wurden unabhängig von der biologischen Humanevolution tradiert



Source: Lahr & Foley 2004, modified

Der gesellschaftliche Erkenntnisweg zum Verständnis von Naturphänomenen

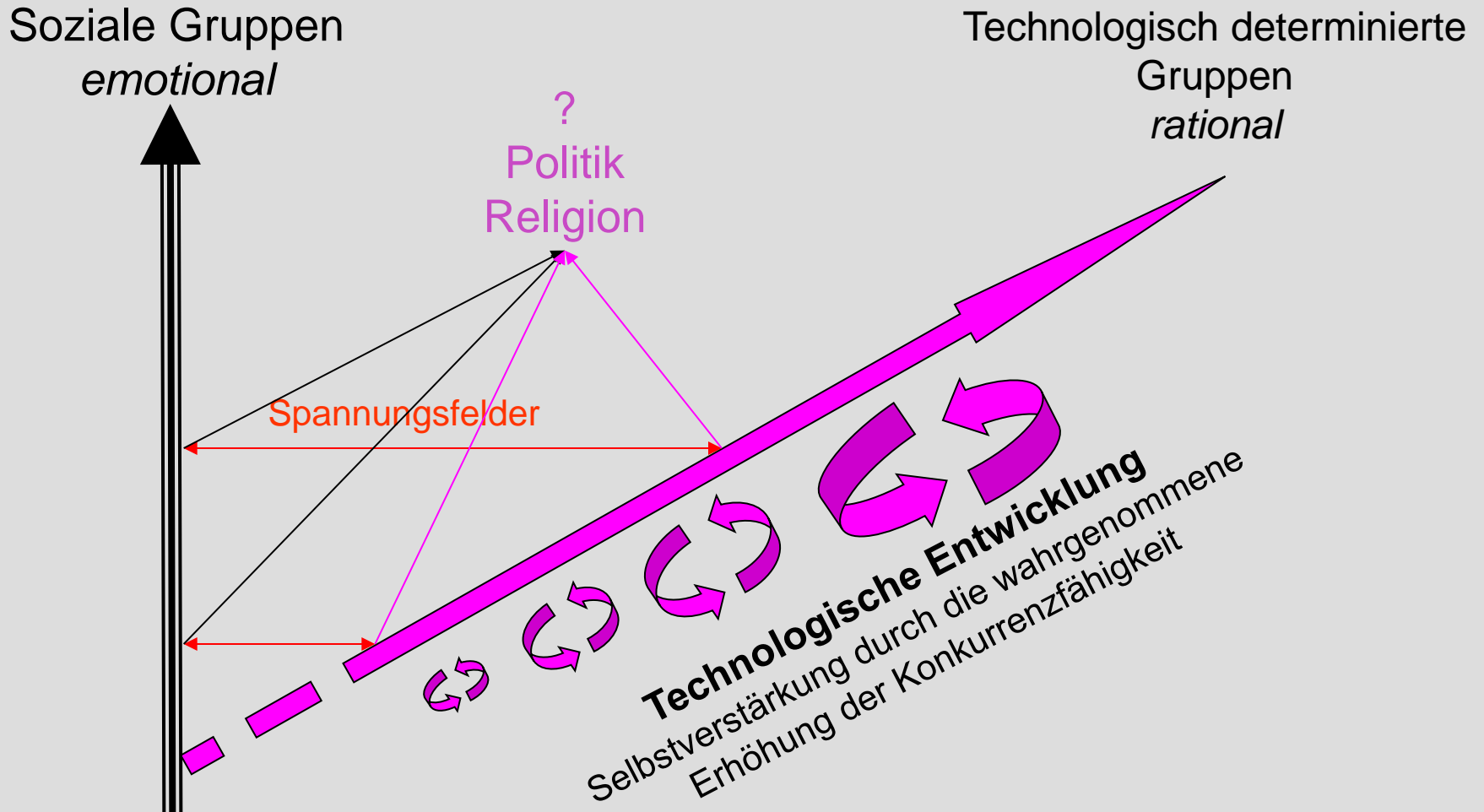
QM = Quantenmechanik
MM = Molekularmechanik



Mentale und kulturelle Konsequenzen

- Zunehmende Anforderungen an deterministische Lösungen
- Unkritischer Glaube an umfassende Gestalt- und Machbarkeit
- Unkritischer Glaube an ewiges Wachstum
- Verdrängung von Unbestimmbarkeiten und Unvorhersehbarkeiten aus gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Diskussionen

Gesellschaftliche Konsequenzen: Zunehmende Verstärkung von Spannungsfeldern zwischen emotionalen Kapazitäten und rationalen Anforderungen



Einige Hypothesen

- Im evolutionären Kontext hängt das langfristige Überleben der Menschheit von der Funktionsfähigkeit der Ökosysteme ab
- Die Besonderheit der Humanevolution liegt in ihrer Orientierung an der – selbst entwickelten – technologischen Trajektorie
- Die Differenz zwischen den biologischen Leistungskapazitäten der Menschen und den technologischen Potenzialen der Gestaltung von Gesellschaft und Umwelt übersteigt zunehmend Fähigkeiten zur Lösung komplexer Aufgabenstellungen

Wir wissen

wir wissen
Bedeutung

Lassen wir
und sagen
gegen



entweder

über die
das Leben

das Katze frei
er den
tügen