



Statens Naturhistoriske Museum



Masseuddøen og mangfoldiggørelse

Bent E. K. Lindow

Palæontolog og geolog

Statens Naturhistoriske Museum

lindow@snm.ku.dk

Program

Uddøen og masseuddøen

Fra katastrofisme til masseuddøen

Perm/Trias

Trias/Jura

Kridt/Palæogen



Fælles diskussion

Hvorfor uddør en art?

(Planter, dyr, encellede osv.)

- Snak med sidekammeraterne!



Evolution og uddøen

Evolution

Arter tilpasser sig løbende til deres miljø

Uddøen = Evolutions-sammenbrud

Miljøet ændrer sig hurtig end en arts tilpasningsevne

Baggrundsuddøen:

5–10% forsvinder per 1 million år

~1 art ud af 100 hver 100.000 år

Arter "varer" typisk 5 millioner år

[variation: 100.000– 15 millioner år]



Fælles diskussion:

**Hvilke vil være GODE FOSSILER til at studere
uddøensmønstre med – og hvorfor?**

og ligeledes,

**hvilke vil være DÅRLIGE FOSSILER til at studere
uddøensmønstre med – og hvorfor?**



Fossilers egnethed til at studere uddøen

GODE

= **Små, meget almindelige**



- Mikrofossiler

- Pollen



- Sporer



- Haj-mikrotænder

- Fra havet (almindelig)

DÅRLIGE

= **Store, ualmindelige eller sjældne**



- Hvirveldyr



- Store hvirvelløse dyr

- Træer og planter



- Fra landjorden (ualmindelig)

GENNEMSNITLIGE

= **Små, almindelige**



- Små hvirvelløse dyr



- Småhvirveldyrs tænder

- Haj-makrotænder



Masseuddøen (Biotisk krise)

En **uddøens-begivenhed**:

- En pludselig og kortvarig nedgang i mængden og mangfoldigheden af levende organismer
- Når uddøens-hastigheden stiger i forhold artsdannelses-hastigheden.

Dvs. "Mange flere arter forsvinder, end der udvikles inden for et kort tidsrum"



Masseuddøen (Biotisk krise)

Almindelige kendetegn:

1. >30% of Jordens arter uddør
2. Uddøen omfatter et bredt udvalg af økologier, både i havet og på landjorden
3. Verdensomspændende
4. Foregår indenfor "et kort tidsrum"
5. Uddøensmængden er højere end almindelig baggrundsuddøen



Program

Uddøen og masseuddøen

Fra katastrofisme til masseuddøen

Perm/Trias

Trias/Jura

Kridt/Palæogen



Katastrofisme

Georges Cuvier 1769-1832

← Cuvier

Cuvier, fransk zoolog og palæontolog. Grundlagde den sammenlignende anatomi og brugen af **fossiler som korrelationsværktøj**.



år 1000

Påviste at **arter var uddøde**, i modstrid med den kirkelige opfattelse (alle arter skabt én gang for alle). Afviklingsfilosofi.

Forklarede uddøen med **katastrofer (katastrofisme)**.

år 0

Arbejdede det meste af sit liv i Pariserbassinet (tertiære aflejringer).

Slide "lånt" fra Bjørn Buchardt



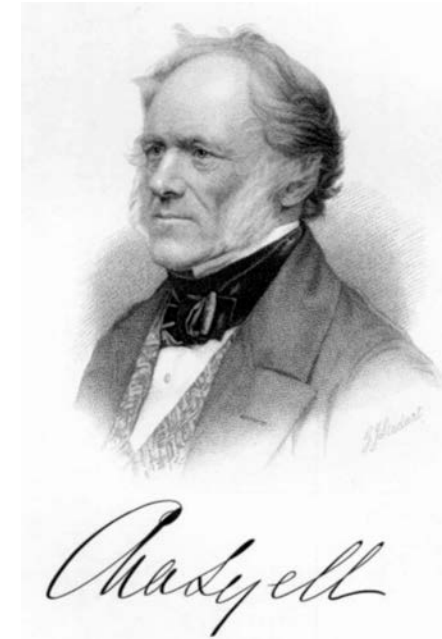
Uniformitarianisme

1.Lovens uniformitet: Naturlovene er de samme igennem tiden.

2.Processerne uniformitet: Nutidige fænomener bruges til at fortolke fortiden (*aktualisme*).

3.Skalaernes uniformitet: Processer i fortiden må være sket med samme hastighed og skala som i nutiden (*gradualisme*).

4.Tilstandens uniformitet: Ændringer på Jorden var cyklisk – det går ikke i en lineær, fremadskridende retning.



Charles Lyell
(1797-1875)
English sagfører
& geolog

Uniformitarianisme

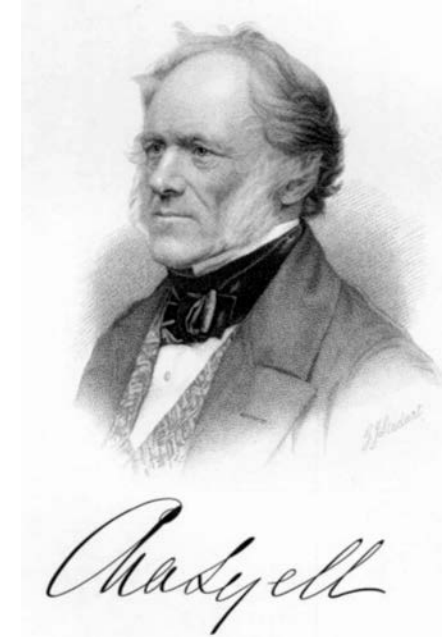
1.Lovens uniformitet: Naturlovene er de samme igennem tiden.

2.Processerne uniformitet: Nutidige fænomener bruges til at fortolke fortiden (*aktualisme*)

3.Skalaernes uniformitet: Processer i fortiden må være sket med samme hastighed og skala som i nutiden (*gradualisme*).

4.Tilstandens uniformitet: Ændringer på Jorden var cyklisk – det går ikke i en lineær, fremadskridende retning.

**INGEN enorme katastrofer
(:oversvømmelser, vulkanudbrud etc.)**



Charles Lyell
(1797-1875)
English sagfører
& geolog

Lyell, C. (1830-1833): *Principles of Geology... 1st Edition*. John Murray, Cambridge



Fælles diskussion

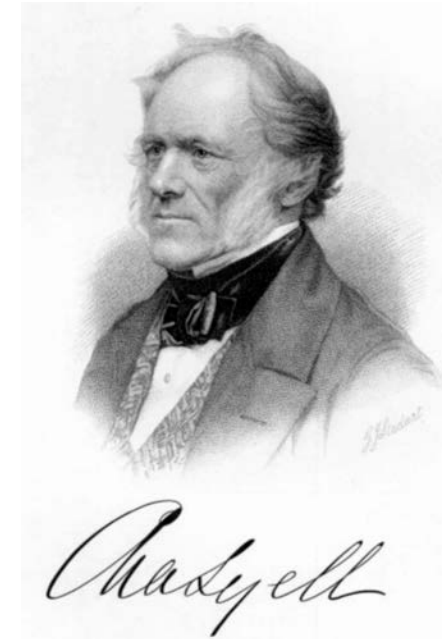
1.Lovens uniformitet: Naturlovene er de samme igennem tiden.

2.Processerne uniformitet: Nutidige fænomener bruges til at fortolke fortiden (*aktualisme*).

3.Skalaernes uniformitet: Processer i fortiden må være sket med samme hastighed og skala som i nutiden (*gradualisme*).

4.Tilstandens uniformitet: Ændringer på Jorden var cyklisk – det går ikke i en lineær, fremadskridende retning.

Kan I kritisere nogen af disse fire anvendelser af "uniformitet"?



Charles Lyell
(1797-1875)
English sagfører
& geolog

Lyell, C. (1830-1833): *Principles of Geology... 1st Edition*. John Murray, Cambridge



Fælles diskussion

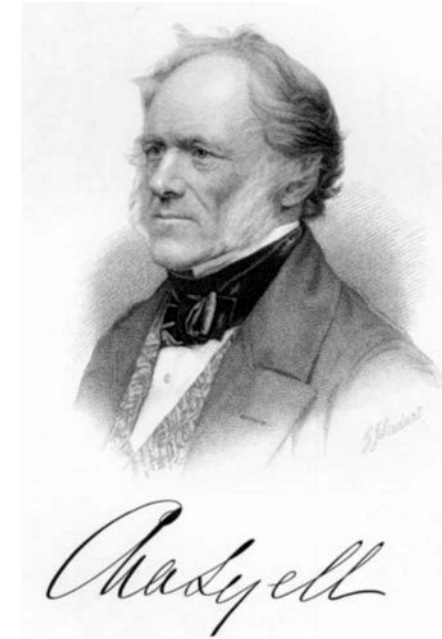
1.Lovens uniformitet: Naturlovene er de samme igennem tiden.

2.Processerne uniformitet: Nutidige fænomener bruges til at fortolke fortiden (*aktualisme*).

~~**3.Skalaernes uniformitet:** Processer i fortiden må være sket med samme hastighed og skala som i nutiden (*gradualisme*).~~

~~**4.Tilstandens uniformitet:** Ændringer på Jorden var cyklisk – det går ikke i en lineær, fremadskridende retning.~~

Kan I kritisere nogen af disse fire anvendelser af "uniformitet"?



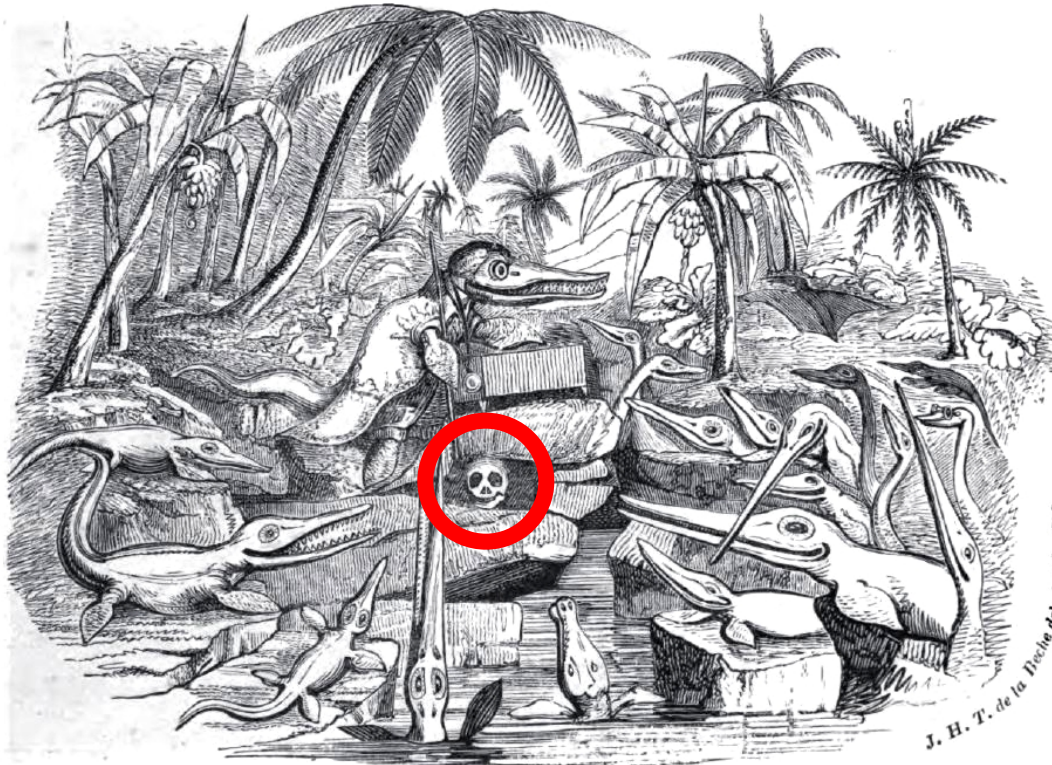
Charles Lyell
(1797-1875)
English sagfører
& geolog

Lyell, C. (1830-1833): *Principles of Geology... 1st Edition*. John Murray, Cambridge



Frygtelige ændringer...

AWFUL CHANGES.
MAN FOUND ONLY IN A FOSSIL STATE—REAPPEARANCE OF ICHTHYOSAURA.



A Lecture.—"You will at once perceive," continued PROFESSOR ICHTHYOSAURUS, "that the skull before us belonged to some of the lower order of animals; the teeth are very insignificant, the power of the jaws trifling, and altogether it seems wonderful how the creature could have procured food."

Pr. *Ichthyosaurus*:

"I bemærker med det samme, at **kraniet foran os** tilhørte en laverestående dyreorden; tænderne er særdeles ubetydelige, kæbestyrken minimal, og i det hele taget er det et under, hvordan dette væsen måtte have skaffet sig føde"

Satire-tegning af Henry de la Beche (1830)



Katastrofe-debatten blev lukket ned

1.Lovens uniformitet: Naturlovene er de samme igennem tiden.

2.Processerne uniformitet: Nutidige fænomener bruges til at fortolke fortiden (*aktualisme*)

3.Skalaernes uniformitet: Processer i fortiden må være sket med samme hastighed og skala som i nutiden (*gradualisme*).

~~**4.Tilstandens uniformitet:** Ændringer på Jorden var cyklisk – det går ikke i en lineær, fremadskridende retning.~~

**INGEN enorme katastrofer
(:oversvømmelser, vulkanudbrud etc.)**



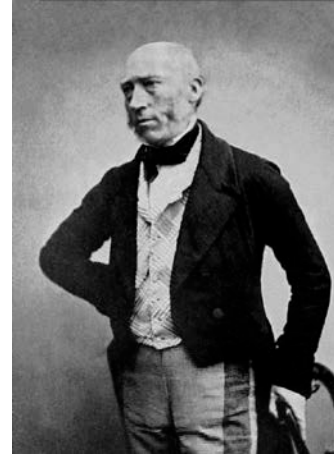
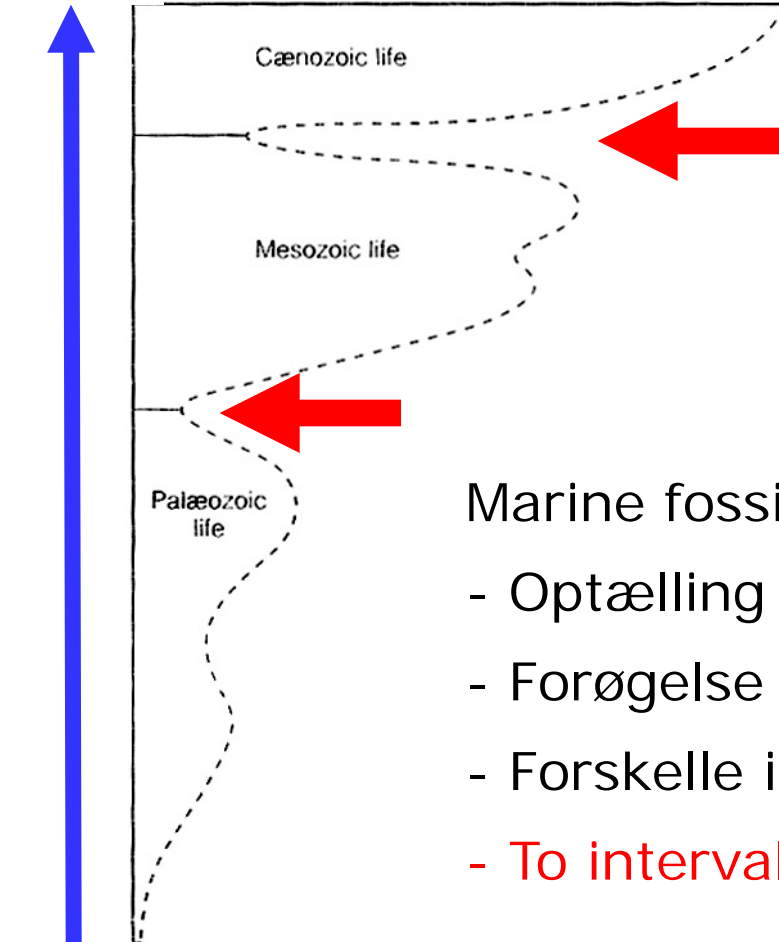
Charles Lyell
(1797-1875)
English sagfører
& geolog

Lyell, C. (1830-1833): *Principles of Geology... 1st Edition*. John Murray, Cambridge



1841: De geologiske æraer

Nutid



John Phillips
(1800-1874)
Engelsk geolog

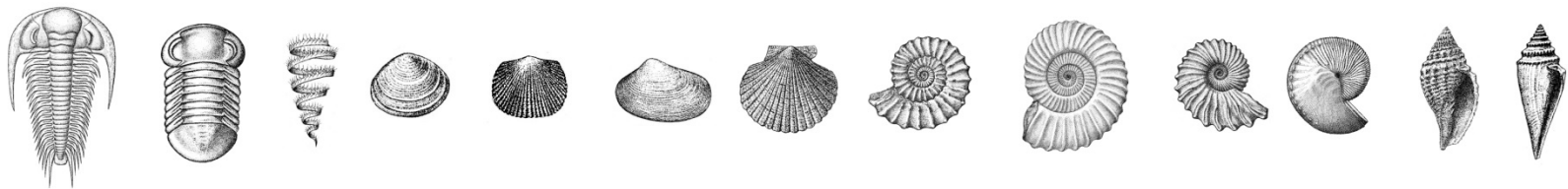
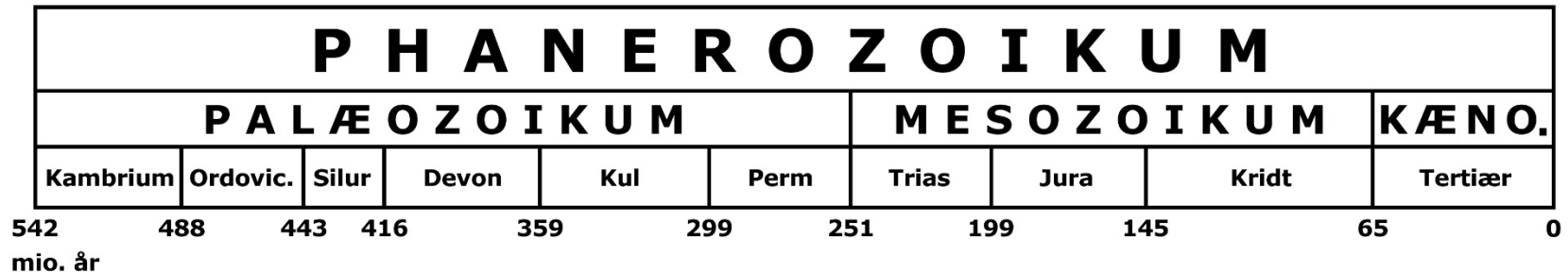
Marine fossiler:

- Optælling af arter indenfor hver periode
- Forøgelse af den samlede biodiversitet over tid
- Forskelle i faunaernes sammensætning
- **To intervaller med lav biodiversitet**

Phillips, J. (1860): *Life on the Earth: its Origin and Succession*. Macmillan, Cambridge



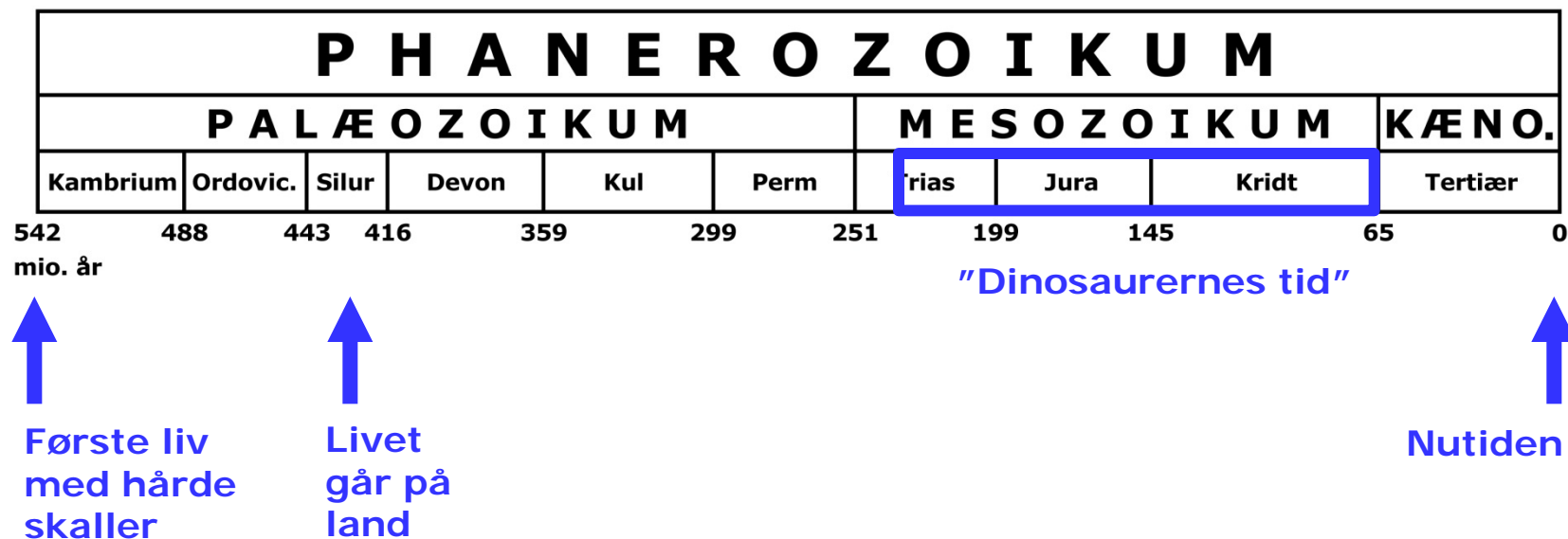
Den geologiske tidsskala



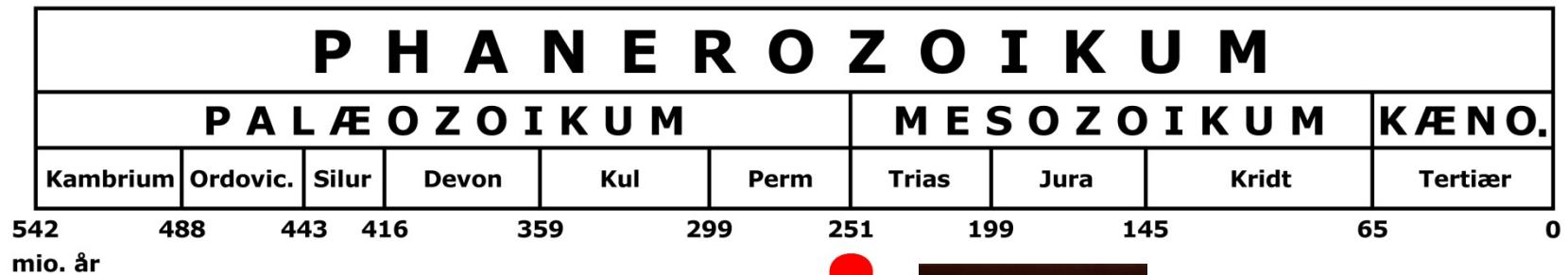
1800-tallet: Geologiske tidsaldre, perioder and epoker navngives og etableres ved indhold og rækkefølge af fossiler

1950'erne og fremad: Længde og varighed of tidsaldre etableres ved radiometrisk datering (igangværende arbejde)

Den geologiske tidsskala



1958 & 1963: Neokatastrofisme



Slut-Perm:
Masseuddøen og
omvæltning blandt
landlevende hvirveldyr



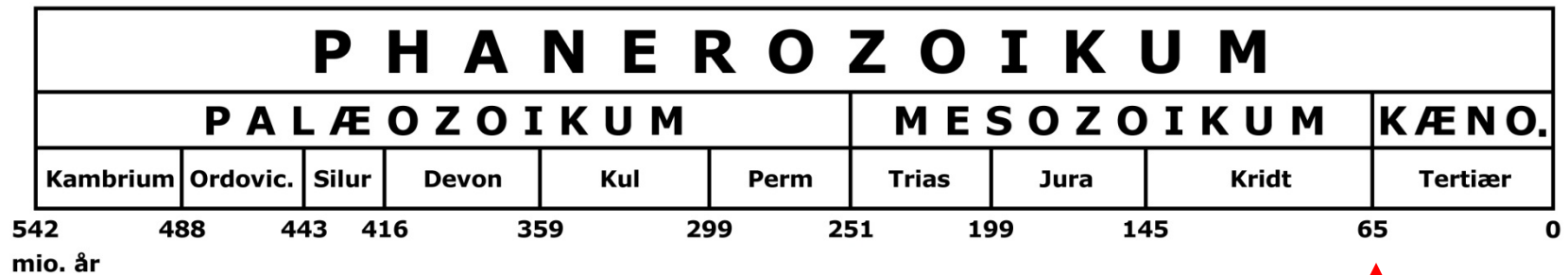
Otto Schindewolf
(1896-1971)
Tysk
palæontolog
(Foto: Tübingen Universitet)

Schindewolf, O.H. (1958): Zur aussprache über die grossen erdgeschichtlichen Faunenschnitte und ihre Verursachung. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte*, pp 270-279

Schindewolf, O.H. (1963): Neokatastrophismus? *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft* **114**, pp 430-445



1980: Ekstraterrestrisk nedslag!



Kridt/Palæogen-grænsen:
Masseuddøen som følge af
meteorit/asteroide-nedslag



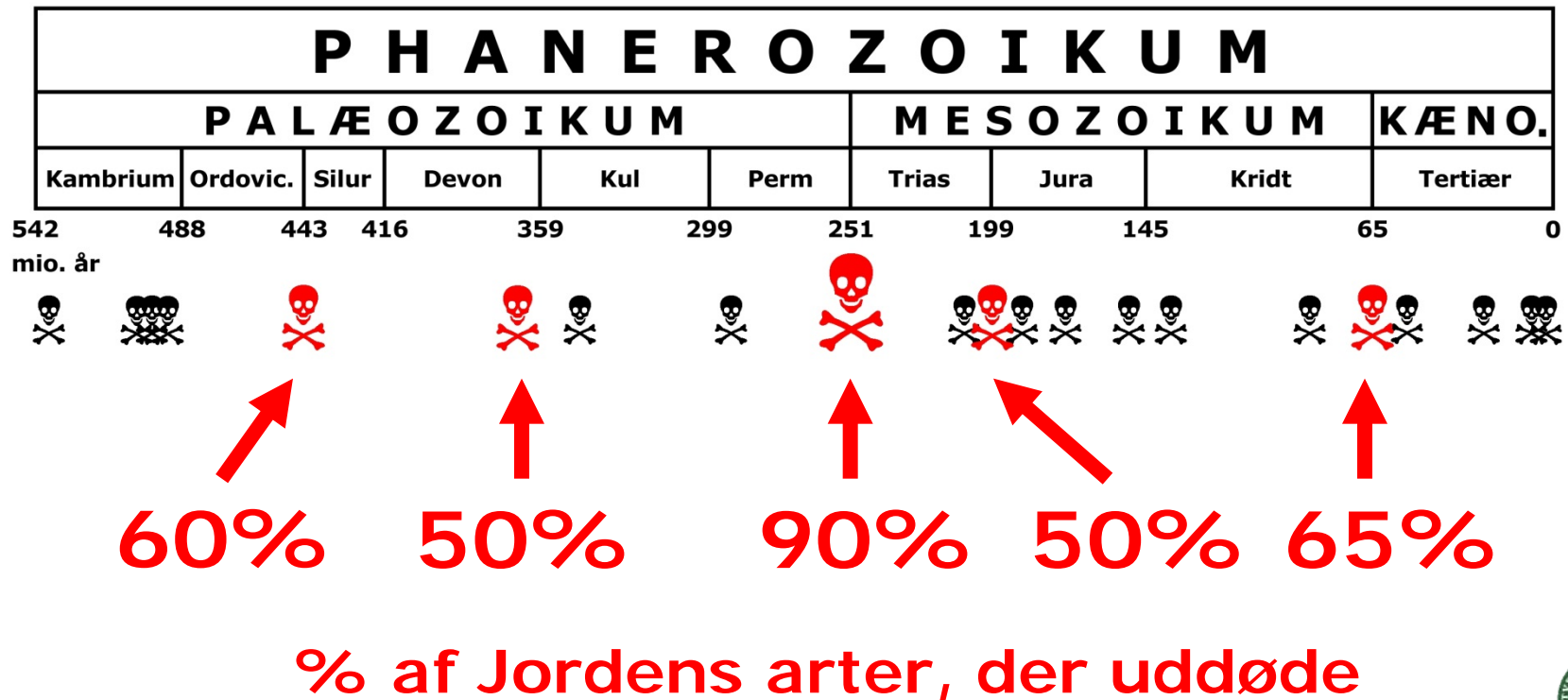
Alvarez, L.W., Alvarez, W., Asaro, F. & Michel, H.V. (1980): Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary boundary extinction. *Science* **208**, pp 1095-1108

Alvarez, L.W. (1983): Experimental evidence that an asteroid impact led to the extinction of many species 65 million years ago. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **80**, pp 627-642



I dag: Mængder af masseuddøener

"De fem store"



Program

Uddøen og masseuddøen

Fra katastrofisme til masseuddøen

Perm/Trias

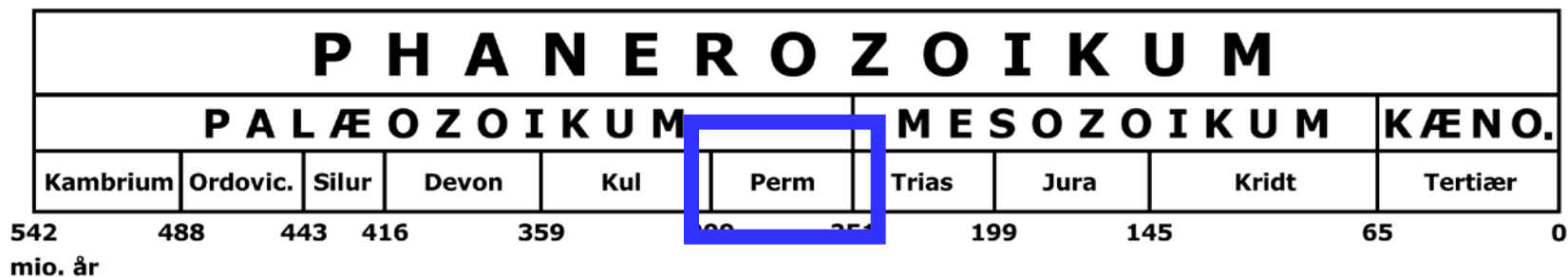
Trias/Jura

Kridt/Palæogen

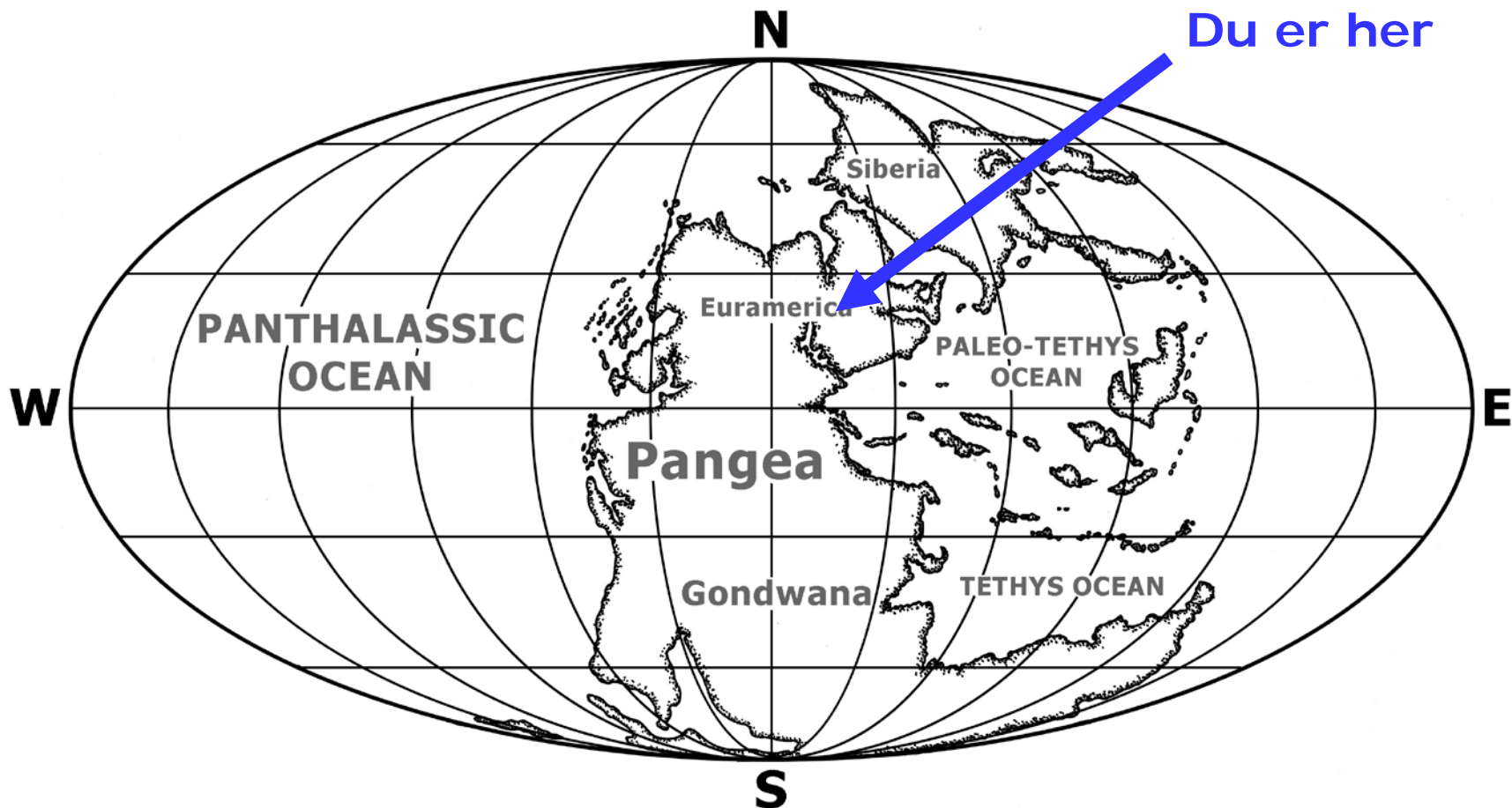
Pause(r) indlægges undervejs



Perm (299-251 millioner år)



Permtidens geografi – Pangæa



Marin mangfoldighed – komplekse samfund

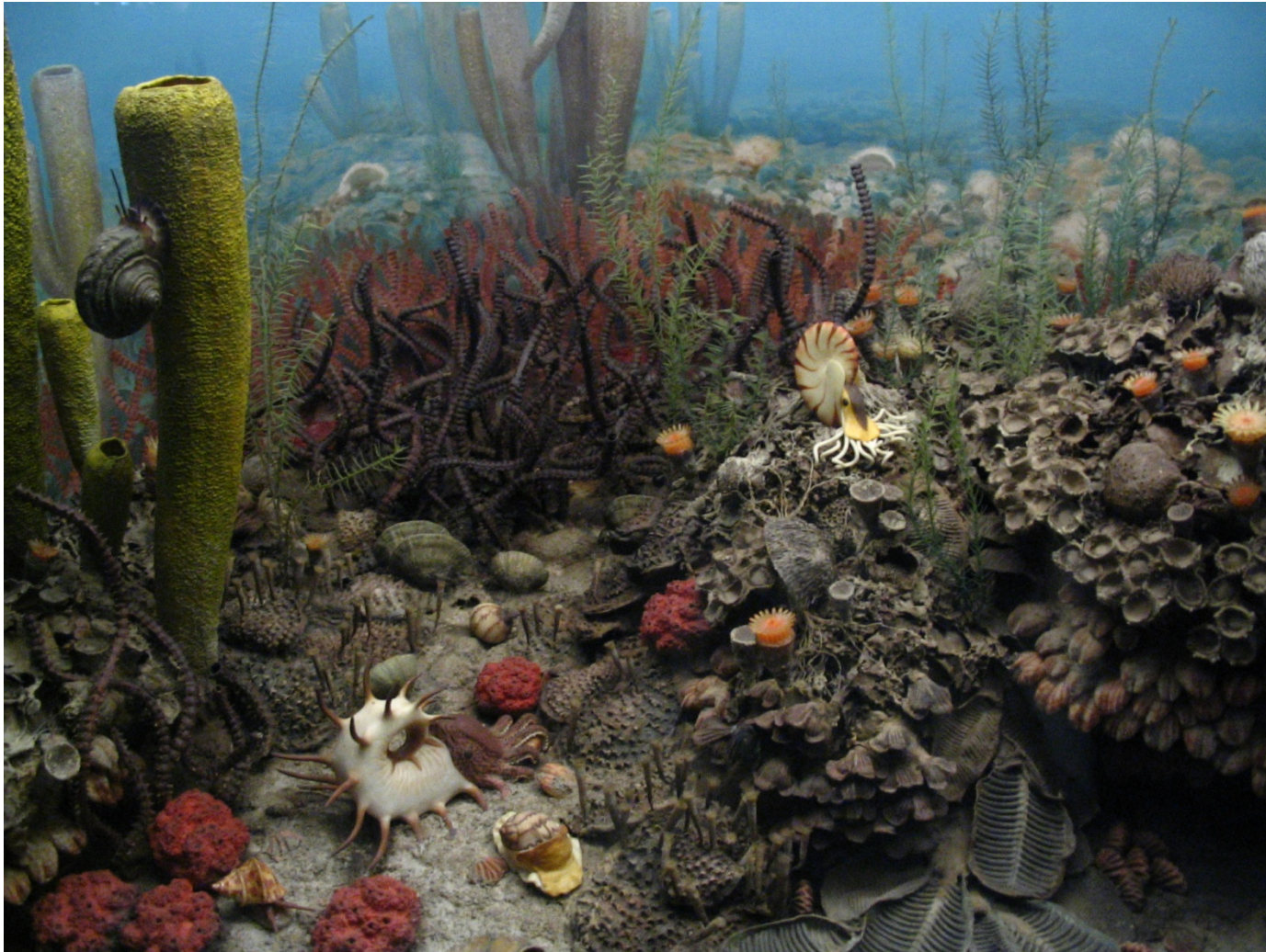
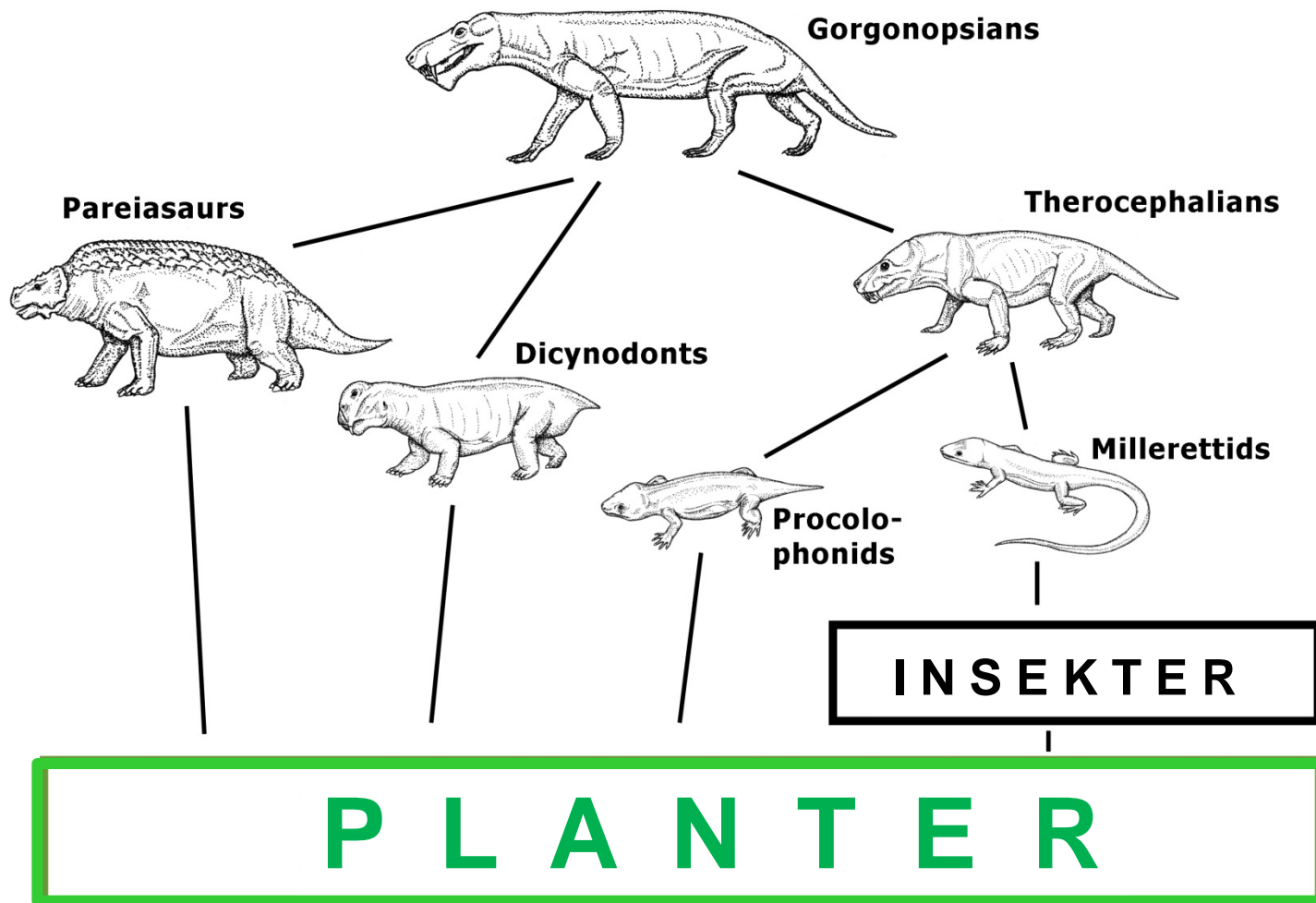
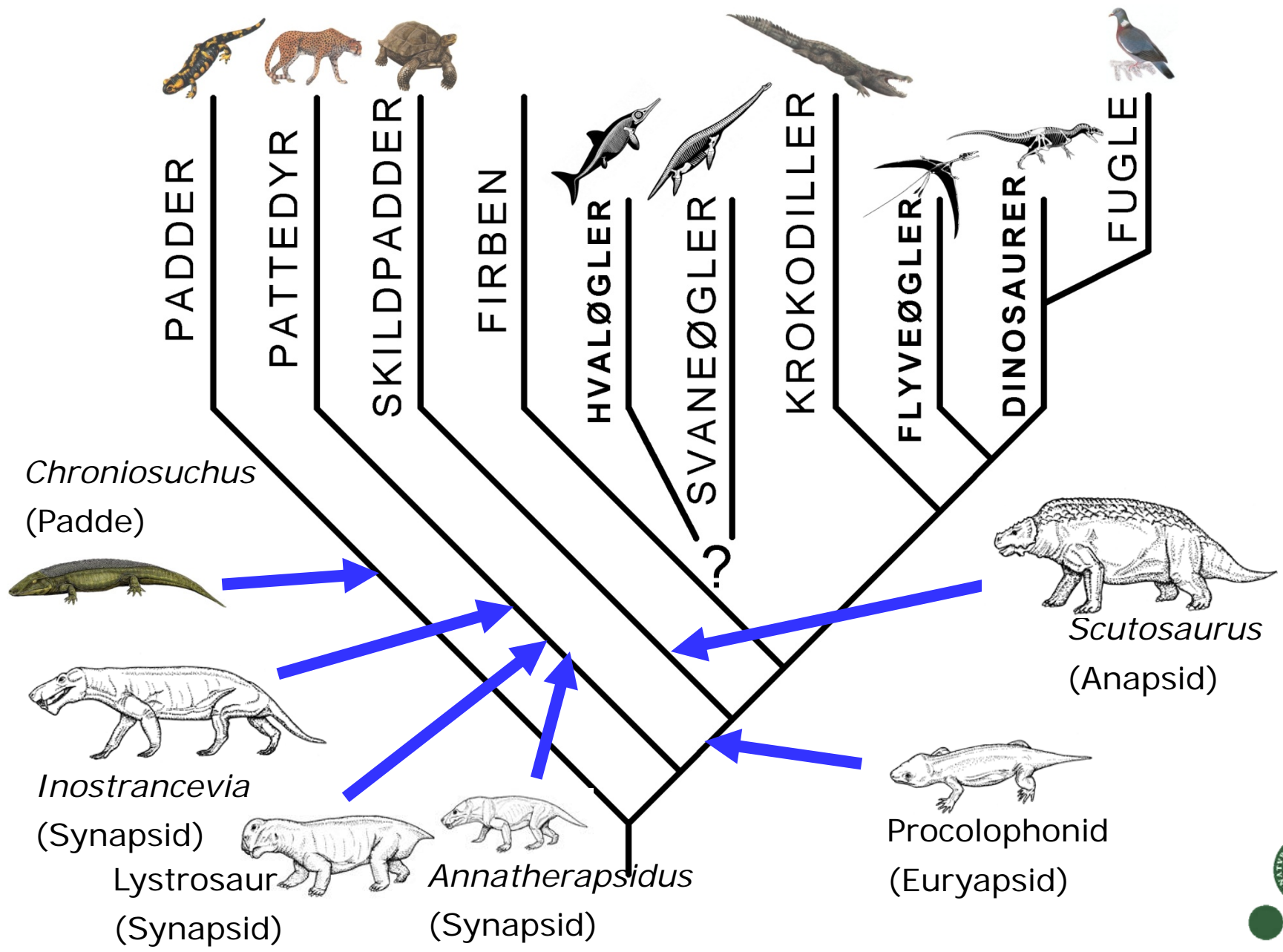


Foto: Bent Lindow

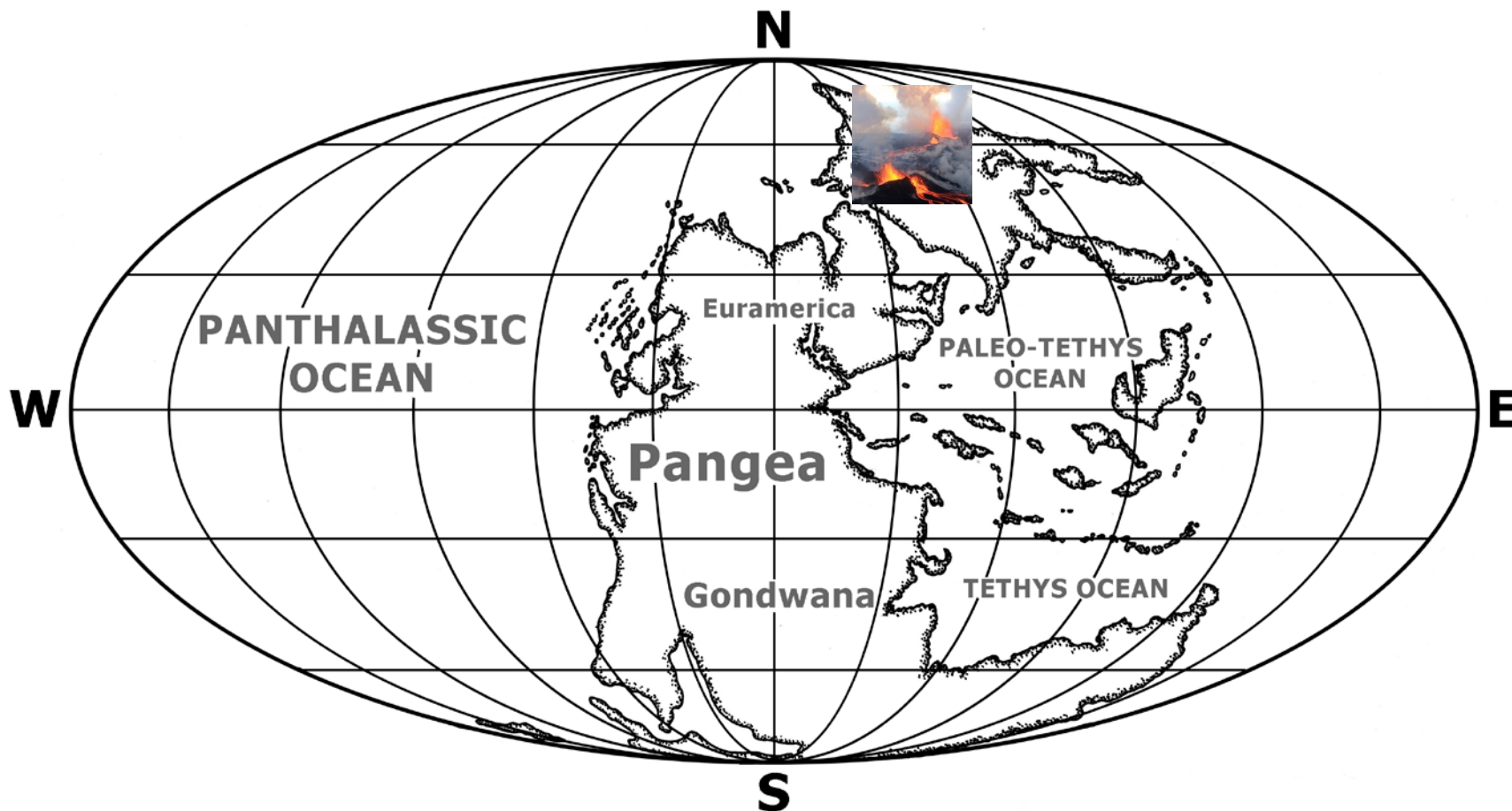


Komplekse fødekæder på landjorden





De Sibiriske Trapper (~251 mio. år)



De Sibiriske Trapper



(Wikimedia: Peter Hartre)

Arealet svarer til:

Vest- og Mellemeuropa
+ Britiske øer + Italien
+ Iberiske halvø + Norden

600.000 år:

2-3 millioner km³ lava

3,9 millioner km²

400-3000 meter tykke lag

Tre udbrudsfaser:

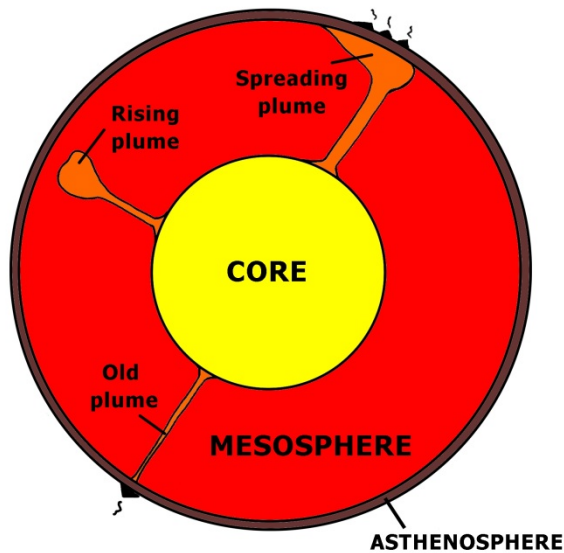
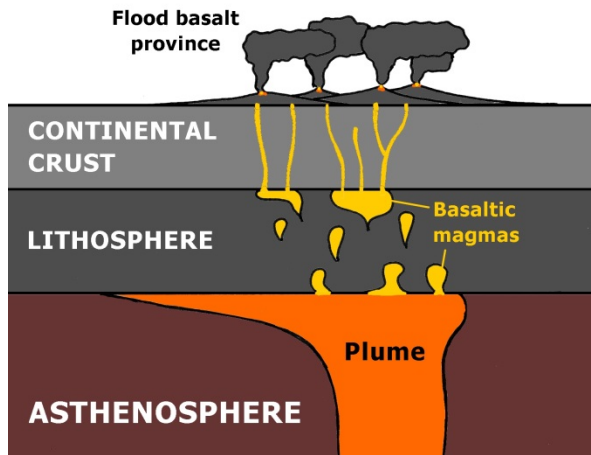
Gudchikinskaya-lavaer

Tidlige Norilsk-lavaer

Sene Norilsk-lavaer



Kappediapir under Nordsibirien



Kappediapiren:

1.600-1.650 °C

15% "genbrugt" oceanbund

Diapir når til 50 kilometers
dybde på 1-200.000 år

Gudchikinskaya-lavaer:

Dybde 50 km – 1-200.000 år

Afgasning af CO₂ og HCl

Siberiske Trapper: Gudchikinskaya-lava



(Wikimedia: Peter Hartre)

Sobolev, S.V., Sobolev, A.V., Kuzmin, D.V., Krivolutsкая, N.A., Petrunin, A.G., Arndt, N.T., Radko, V.A. & Vasiliev, Y.R. (2011): Linking mantle plumes, large igneous provinces and environmental catastrophes. *Nature* **477**, pp 312-316

Første udbrudsphase varede mindre end 200.000 år

Af-gasning af CO₂ og HCl
(: pyroxenit-afledt smelte)

CO₂: 170 * 10¹² tons

HCl: 18 * 10¹² tons

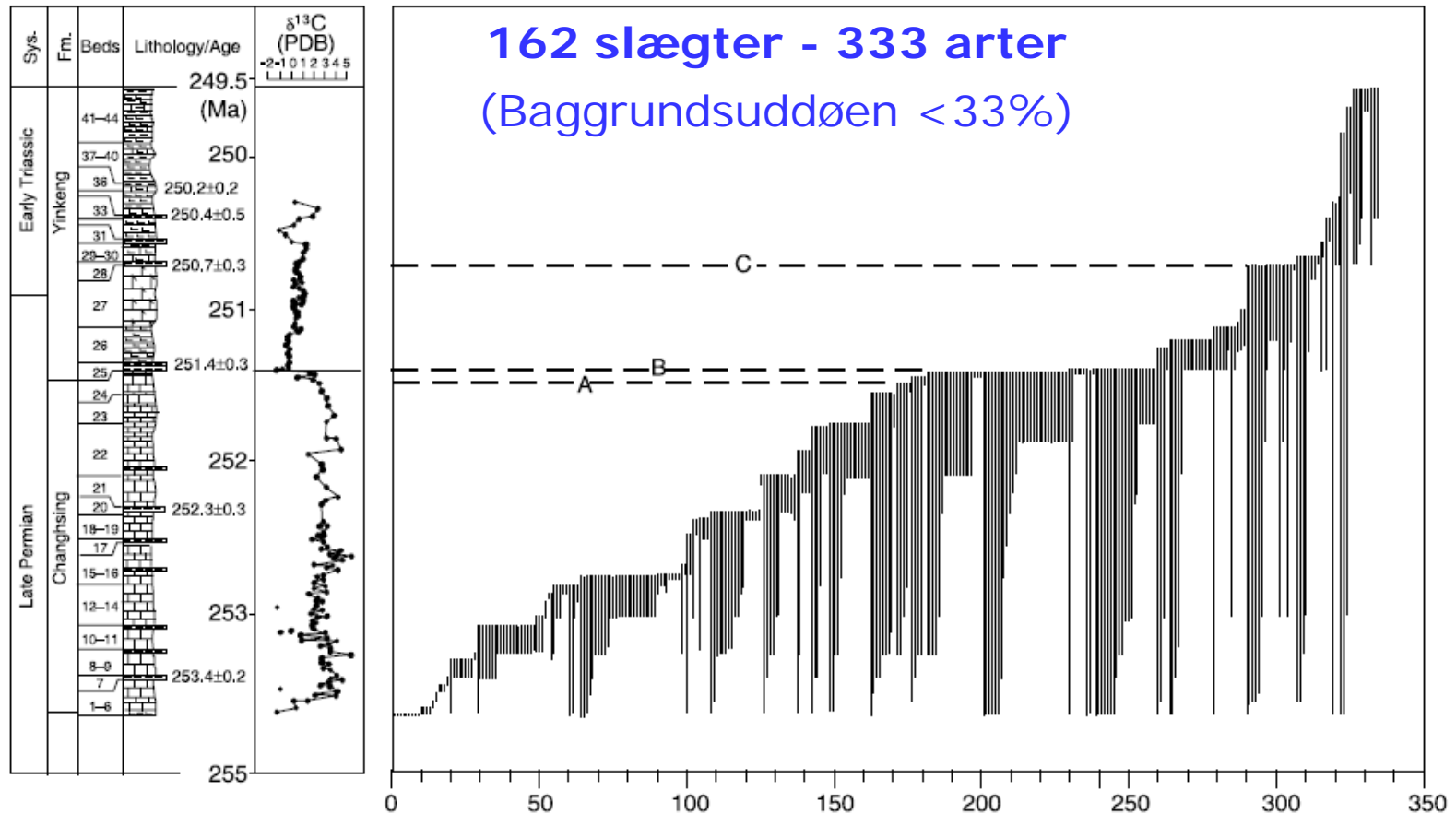
10¹² = billion (DK, UK)

10¹² = million millions (UK)

10¹² = trillion (USA)



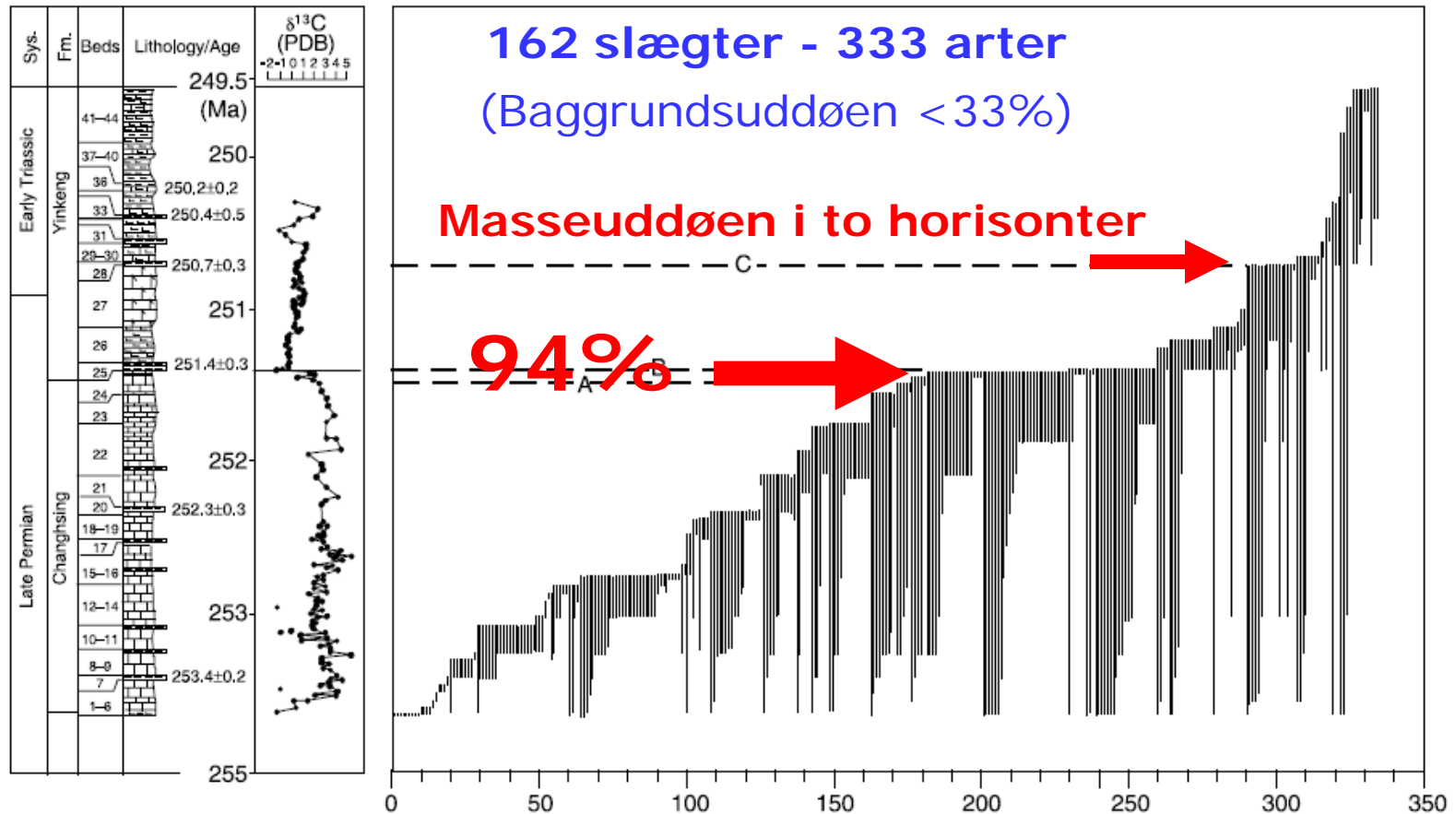
Meishan-sektionen, Sydkina



Jin, Y.G., Wang, Y., Wang, W. Shang, Q.H., Cao, C.Q. & Erwin, D.H. (2000): Pattern of Marine Mass Extinction Near the Permian-Triassic Boundary in South China. *Science* **289**, pp 432-436



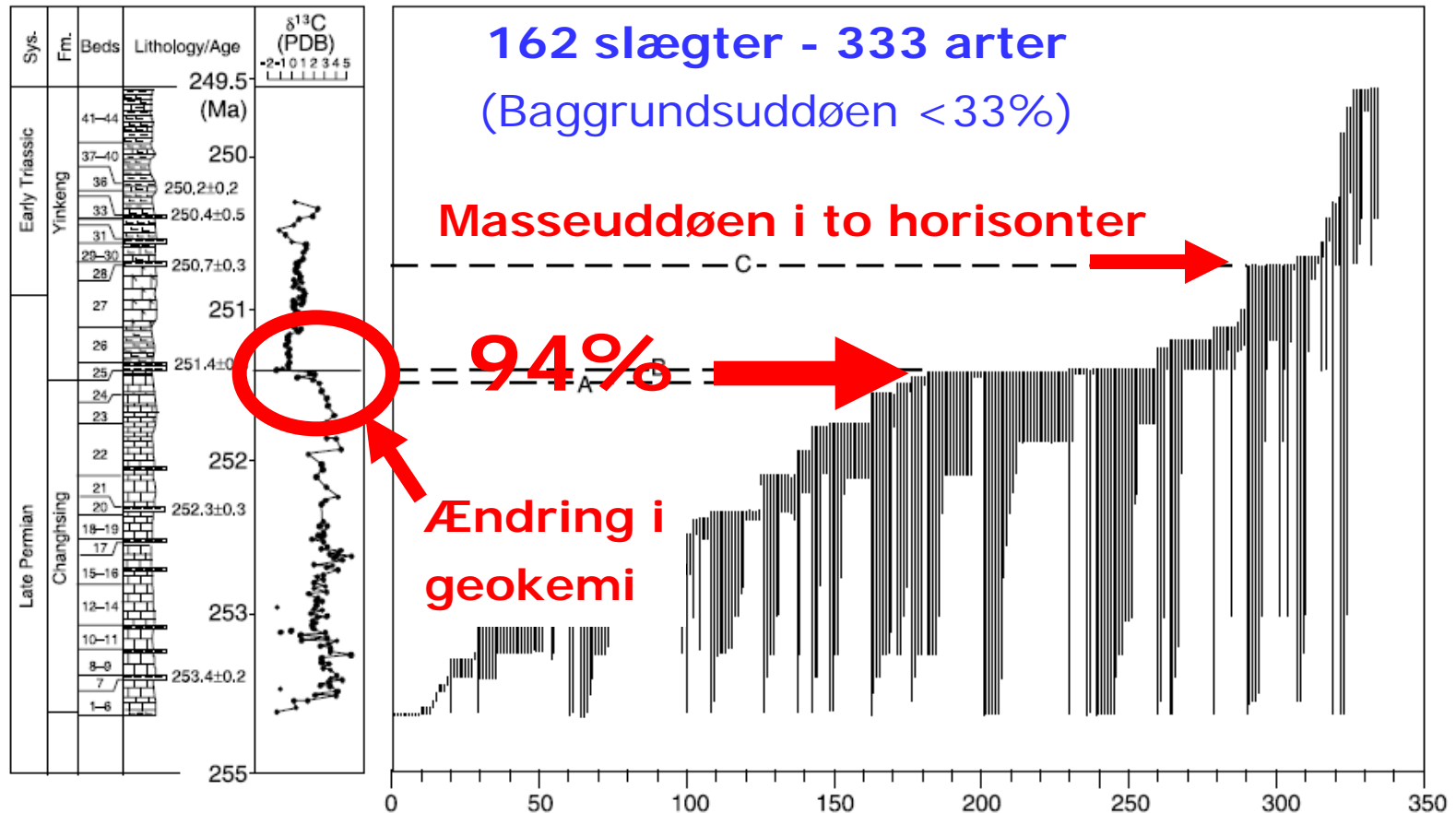
Meishan-sektionen, Sydkina



Jin, Y.G., Wang, Y., Wang, W. Shang, Q.H., Cao, C.Q. & Erwin, D.H. (2000): Pattern of Marine Mass Extinction Near the Permian-Triassic Boundary in South China. *Science* **289**, pp 432-436



Meishan-sektionen, Sydkina



Jin, Y.G., Wang, Y., Wang, W. Shang, Q.H., Cao, C.Q. & Erwin, D.H. (2000): Pattern of Marine Mass Extinction Near the Permian-Triassic Boundary in South China. *Science* **289**, pp 432-436



$\delta^{13}\text{C}$ -udsving: Fald i biologisk produktivitet

Isotop sammensætning på jorden: ^{12}C (98,9%) og ^{13}C (1,1%)

Planteplankton foretrækker ^{12}C fremfor ^{13}C => $\delta^{13}\text{C} \sim -26 \text{ ‰}$

Fald i $\delta^{13}\text{C}$ = Fald i den marine produktivitet

Fald i $\delta^{13}\text{C}$ = Yderligere ^{12}C tilføjes havene

Perm/Trias $\delta^{13}\text{C}$ -fald: ~ -4 to -6 ppm

Udryddelse af al biomasse: Representerer kun 20%

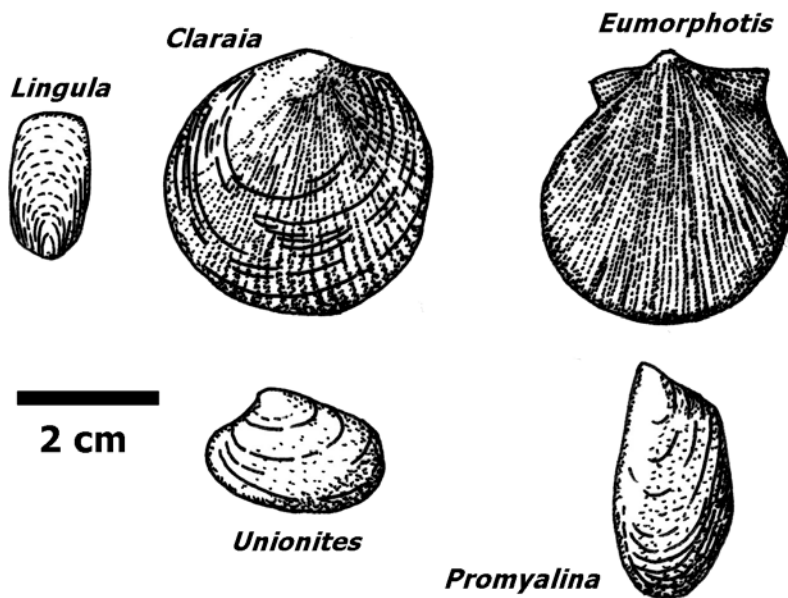
CO_2 fra Gudchikinskaya-lava redegør for hele udsvinget

Benton, M.J. & Twitchett, R.J. (2003): How to kill (almost) all life: the end-Permian extinction event. *TRENDS in Ecology and Evolution* **18** (7), pp 358-365

Sobolev, S.V., Sobolev, A.V., Kuzmin, D.V., Krivolutskaya, N.A., Petrunin, A.G., Arndt, N.T., Radko, V.A. & Vasiliev, Y.R. (2011): Linking mantle plumes, large igneous provinces and environmental catastrophes. *Nature* **477**, pp 312-316



Katastrofe-slægter med global udbredelse



Armfødder

Lingula sp.

Muslinger

Claraia sp.

Eumorphotis sp.

Unionites sp.

Promyalina sp.

(50 slægter hver af armfødder og muslinger overlever)

Benton, M. (2003): *When life nearly died. The greatest mass extinction of all times*. Thames & Hudson, London, 336 pp



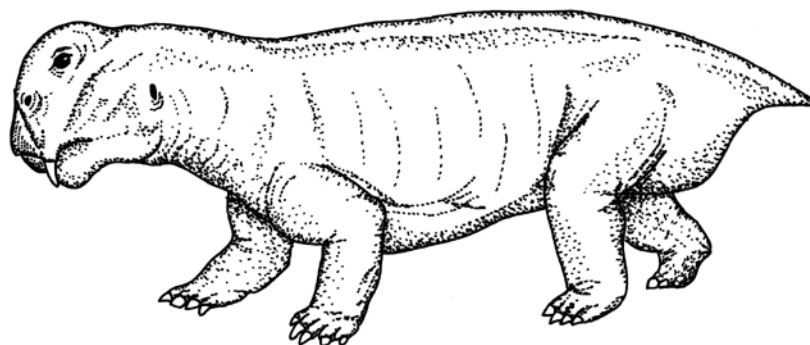
Landlevende hvirveldyr - Rusland

Myr	International Stage	Russian Stage	South African Assemblage Zones	Gorizont	Svita	Size	FRESHWATER			TERRESTRIAL						Completeness										
						Diet	Fish			Br.	In.	Browsers	Insects	Tetrapods	Br.	Tet.	Nos	Quality								
						Habitat	FRESHWATER			TERRESTRIAL						Loc.	Spec.	1	2	3	4					
240	Ladinian			Bukobay	Bukobay														4	17	11	5	1	0		
245	Anisian		Donguz	Donguz															9	51	18	22	6	5		
250		Olenekian	Cynognathus	Yarenskian	Petropavlovskaya															23	62	30	26	5	1	
250	Induan	Scythian	Lystrosaurus	Vedugian	Ust-Mylian															12	20	10	9	1	0	
				Sjudkian	Gostevskaya																59	108	58	39	10	1
				Rybinkian	Kzylsaiskaya																	72	147	75	66	6
255	Chang.		Dicynodon	Vyatskian	Kutuluskaya/Kulchomovskaya															41	76	40	34	2	0	
260	Wuchiapingian	Tatarian	Cistecephalus	Severodvinian	Malokinelskaya/Vyazovskaya															14	63	17	43	1	2	
265			Capitanian			Pristerognathus																	9	50	10	20
265	Wordian		Tapinocephalus	Urzhumian	Amanakskaya															27	49	28	17	4	0	
270	Roadian	Kazanian	Eodicynodon		Bolshekinelskaya															13	20	10	3	6	1	
						Belebey															5	11	5	4	1	1
			Ufimian			Osinovskaya																1	1	1	0	0
	Kung.																		Totals	289	675	313	288	63	11	

Benton, M.J, Tverdokhlebov, V.P. & Surkov, M.V. (2004): Ecosystem remodelling among vertebrates at the Permian-Triassic boundary in Russia. *Nature* **432**, pp 97-100



DEN globale katastrofeslægt



Lystrosaurus

(Synapsid)

1 meter lang

90 kilo tung

Planteæder

Op til 95% af mangfoldighed

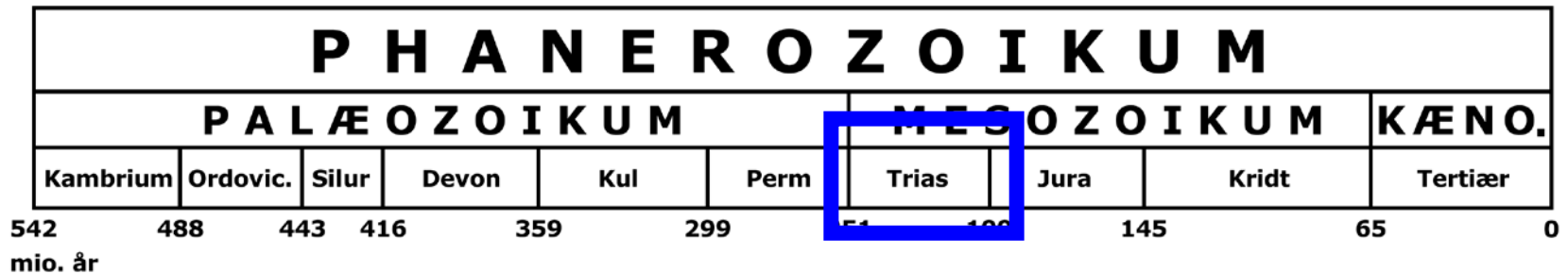
Ingen rovdyr?

Held?

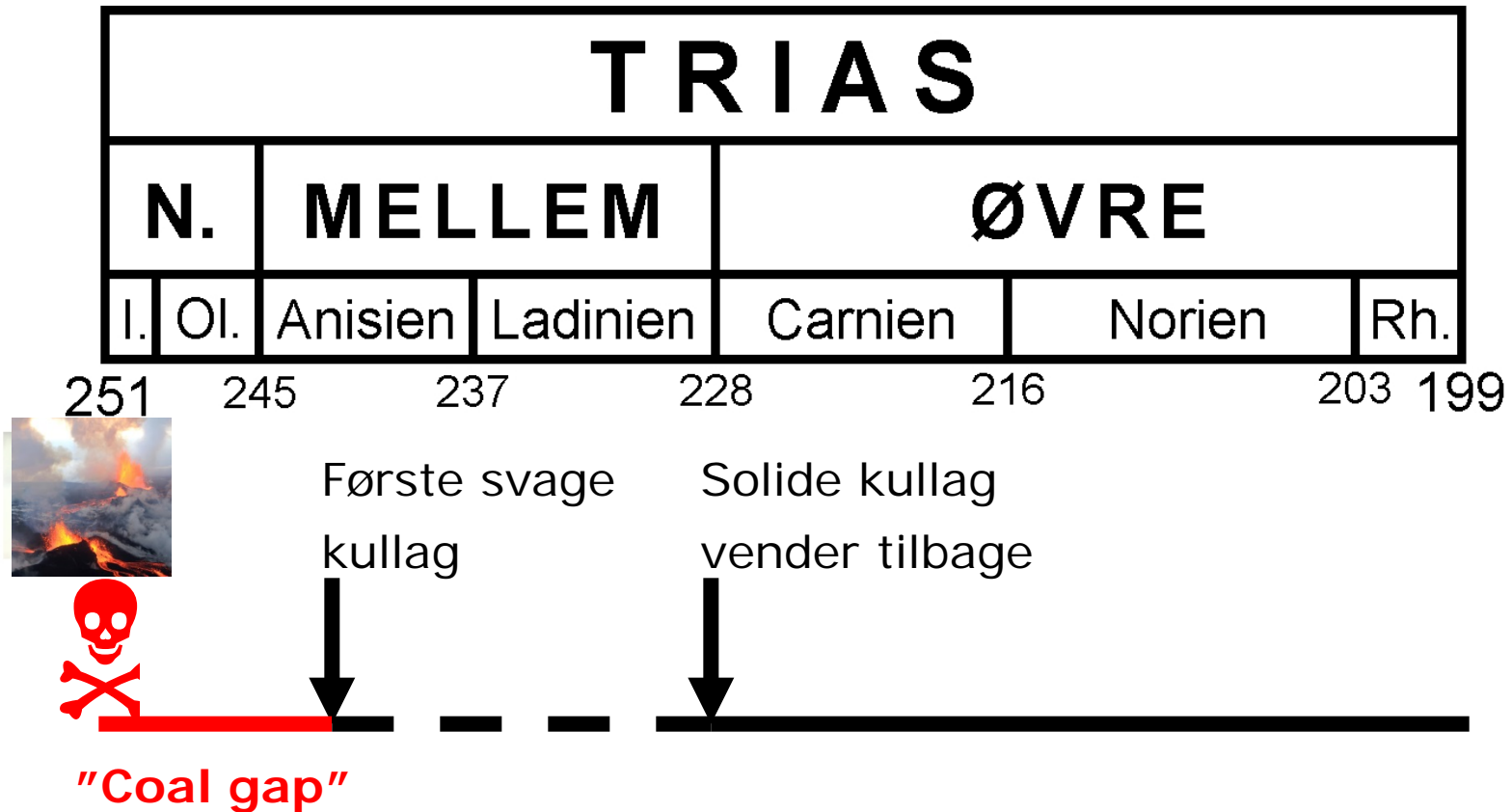
Benton, M. (2003): *When life nearly died. The greatest mass extinction of all times*. Thames & Hudson, London, 336 pp



Trias (251-201 millioner år)



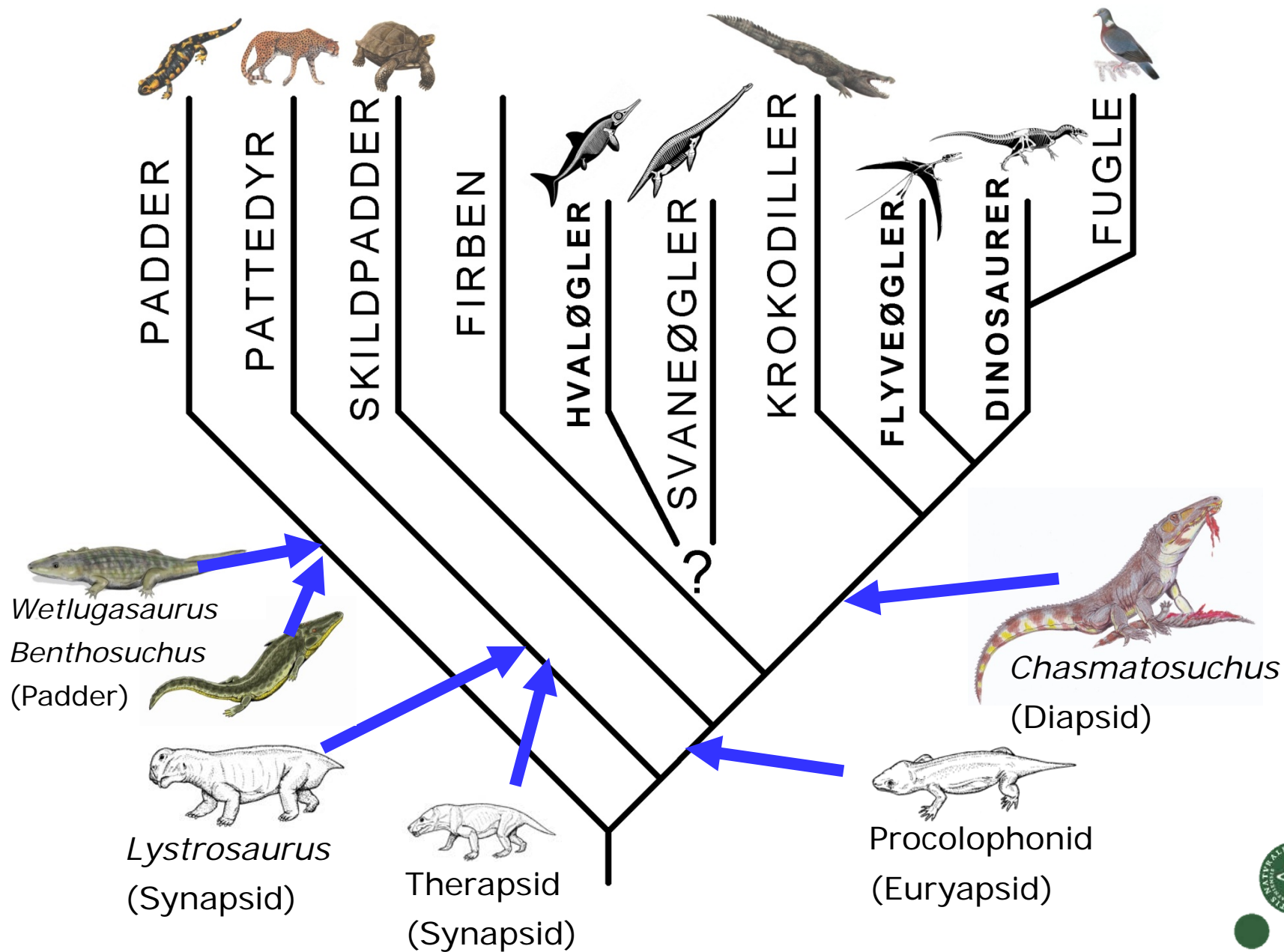
"Hullet i kullet" – ingen skove i 7 mio. år



Retallack, G.J. (1999): Postapocalyptic greenhouse paleoclimate revealed by earliest Triassic paleosols in the Sydney Basin, Australia. *Geological Society America Bulletin* **111**, pp 52-70

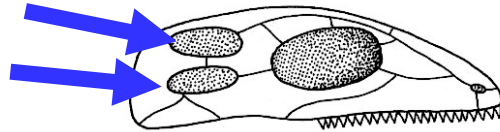
Looy, C.V., Twitchett, R.J., Dilcher, D.L., Van Konijnenburg-Van Cittert, J.H.A. & Visscher, H. (2001): Life in the end-Permian dead zone. *Proceedings National Academy of Sciences U.S.A.* **98**, pp 7879-7883



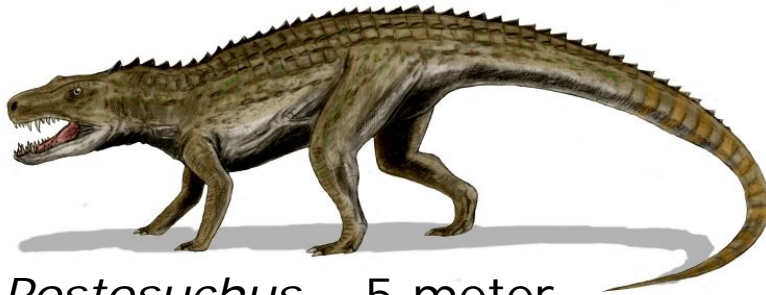


Trias-archosaurer

Diapsid kranie

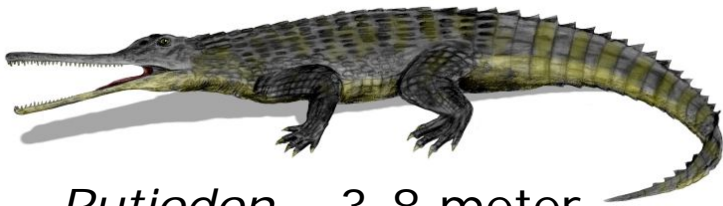


Rauisuchier



Postosuchus – 5 meter

Phytosaurer



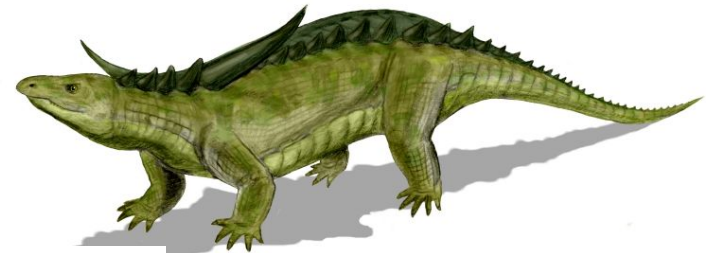
Rutiodon – 3-8 meter

Pterosaurer



Preondactylus
– 45 cm vingefang

Aetosaurer



Desmotosuchus – 5 meter

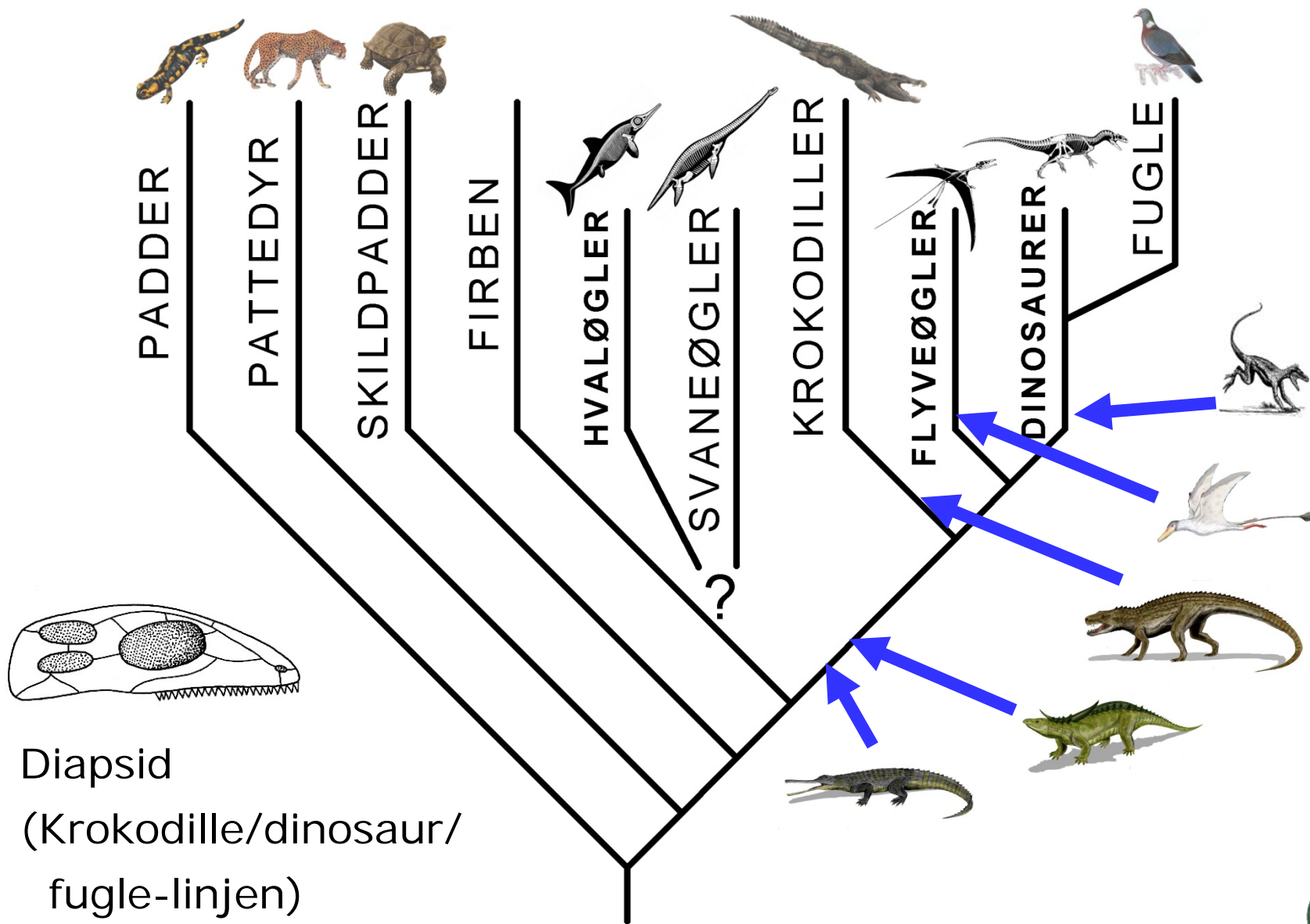
Dinosauromorfer



Marasuchus – ½ meter

Rekonstruktioner: Nobu Tamura, Wikimedia



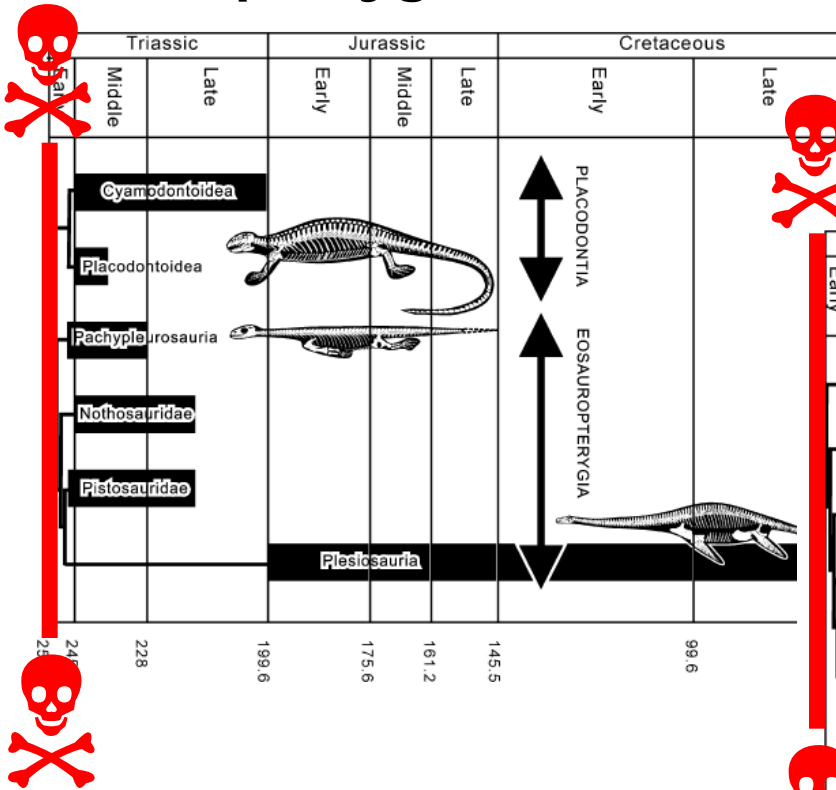


Diapsid
(Krokodille/dinosaur/
fugle-linjen)

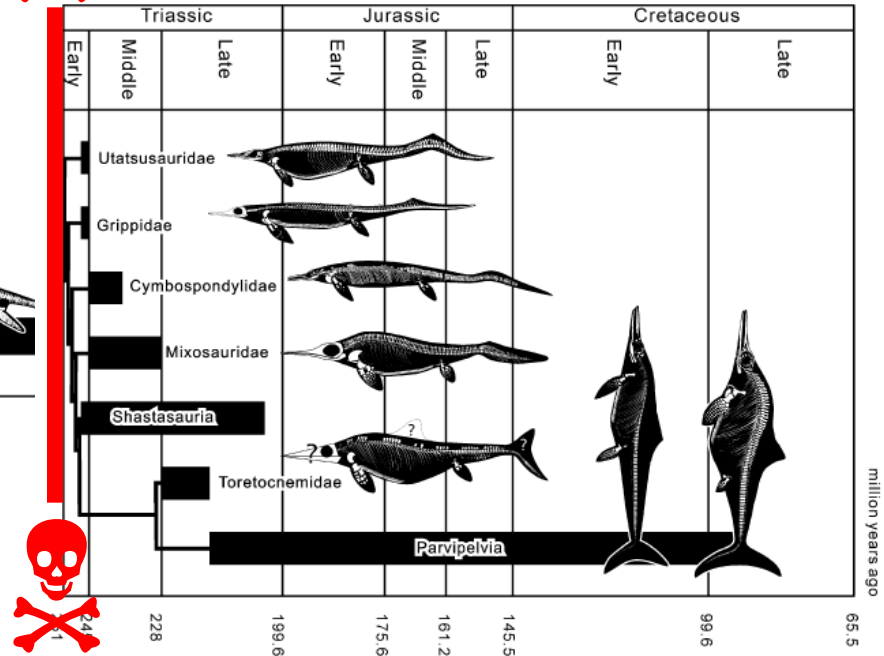
Tidligste Trias: Landdyr tilbage til havet

Fortid  Nutid

Sauropterygia



Ichthyopterygia (Hvaløgler)



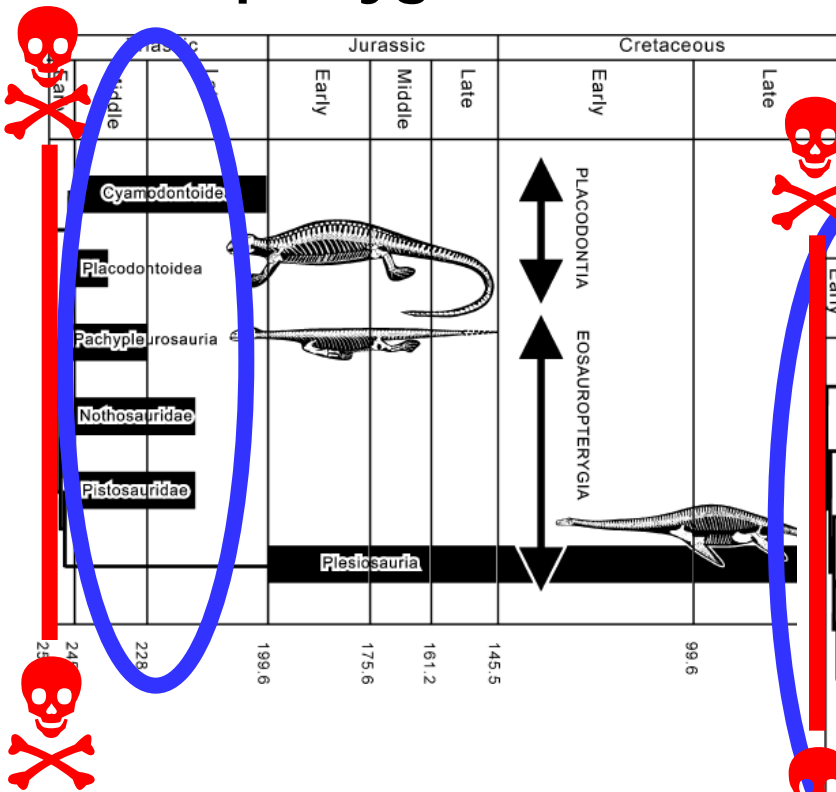
Motani (2009): The Evolution of Marine Reptiles. *Evolution: Education and Outreach* 2, pp 224-235



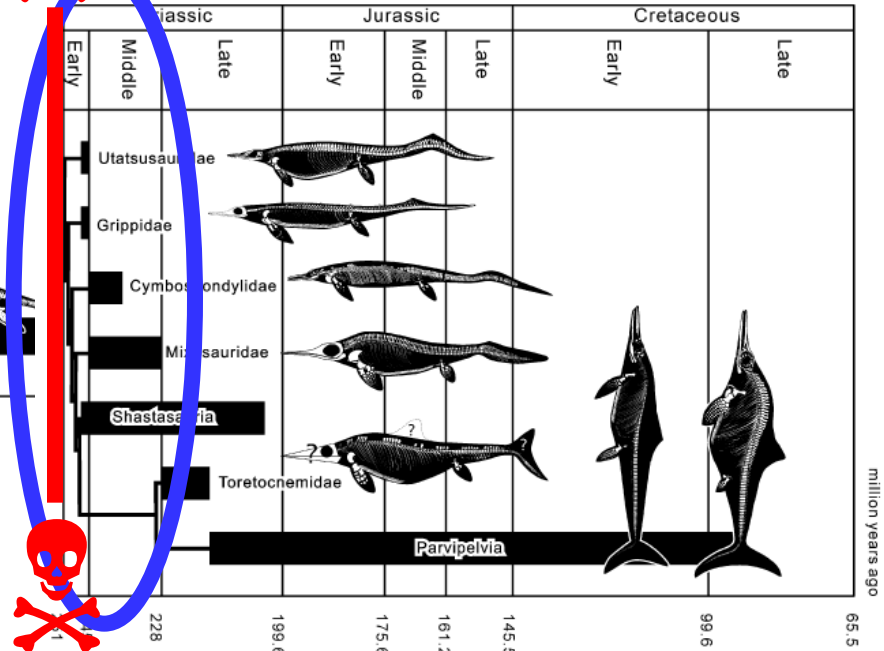
Tidligste Trias: Landdyr tilbage til havet

Fortid → Nutid

Sauropterygia



Ichthyopterygia (Hvaløgler)



Ingen firbenede landdyr vendte tilbage til havet før tidligste Trias!

Motani (2009): The Evolution of Marine Reptiles. *Evolution: Education and Outreach* 2, pp 224-235



Program

Uddøen og masseuddøen

Fra katastrofisme til masseuddøen

Perm/Trias

Trias/Jura

Kridt/Palæogen



Dinosaurerne i Trias (251 – 201 mio. år)

TRIAS					
N.		MELLEM		ØVRE	
I. Ol.	Anisien	Ladinien	Carnien	Norien	Rh.

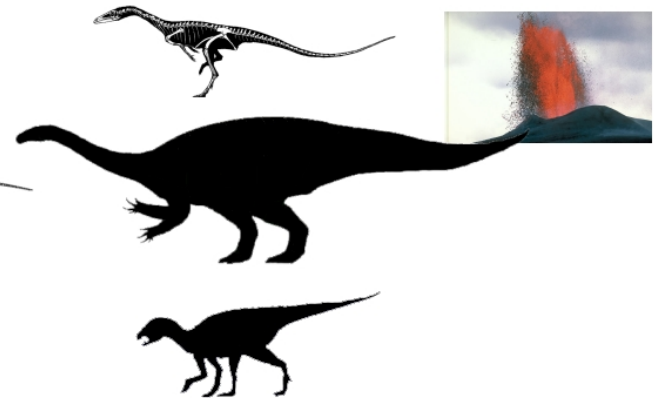
251 245 237 228 216 203 199



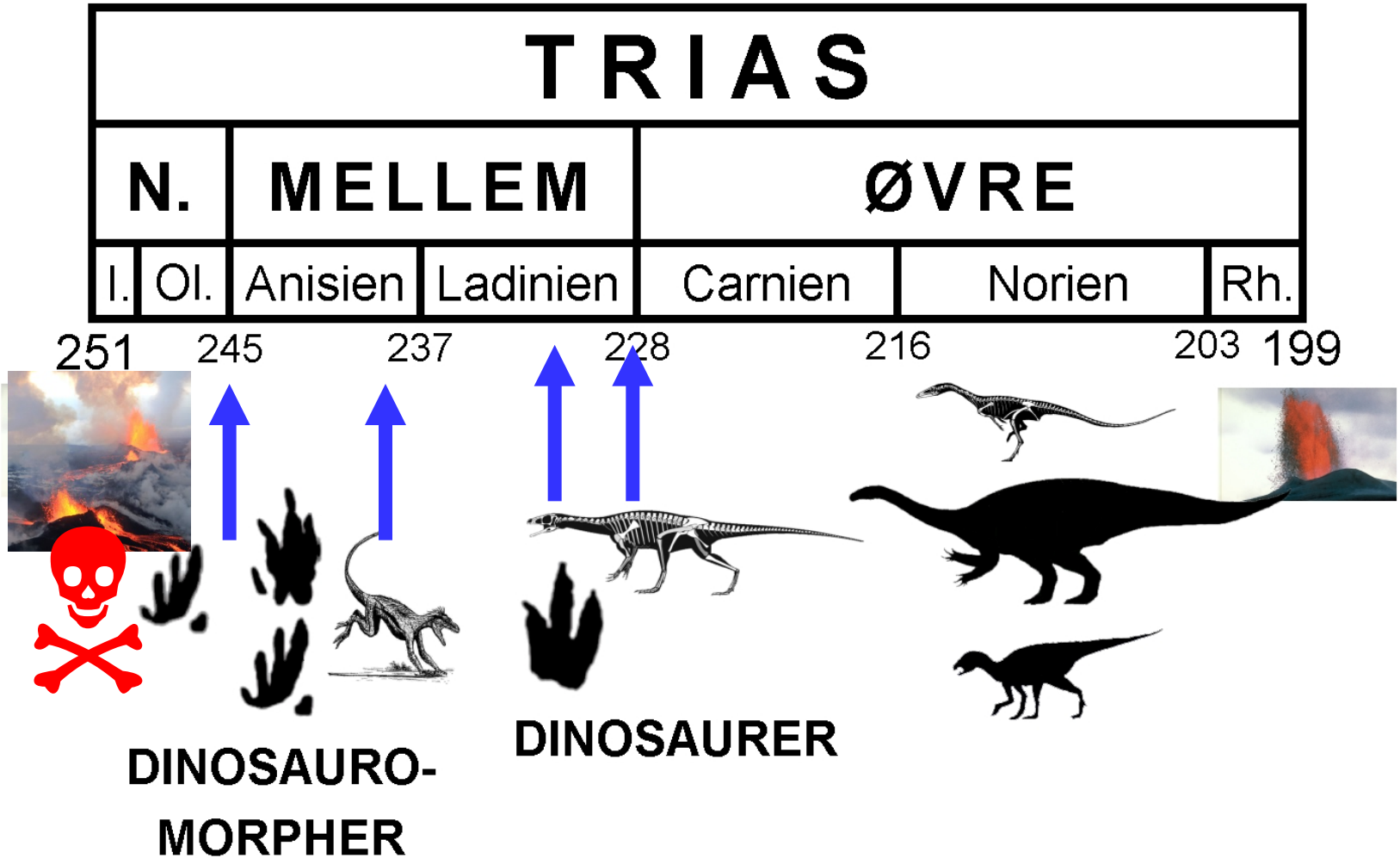
**DINOSAURO-
MORPHER**



DINOSAURER



Dinosaurerne i Trias (251 – 201 mio. år)



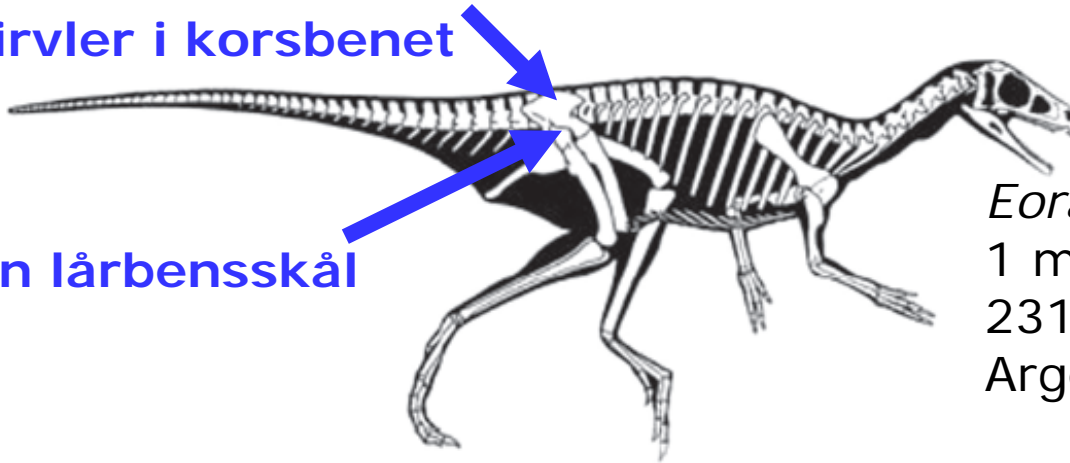
**DINOSAURO-
MORPHER**

DINOSAURER

Dinosaurernes kendetegn

Tre (3) sammenvoksede
hvirvler i korsbenet

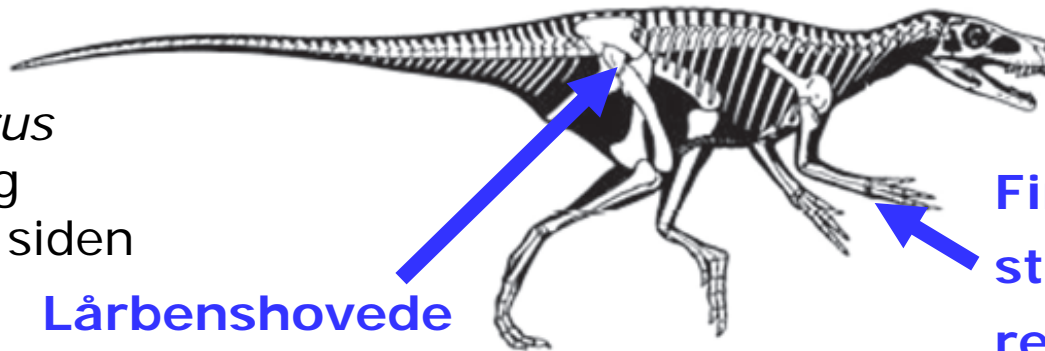
Åben lårbensskål



Eoraptor
1 meter lang
231 mio. år siden
Argentina

Herrerasaurus
3 meter lang
231 mio. år siden
Argentina

Lårbenshovede
vender indad

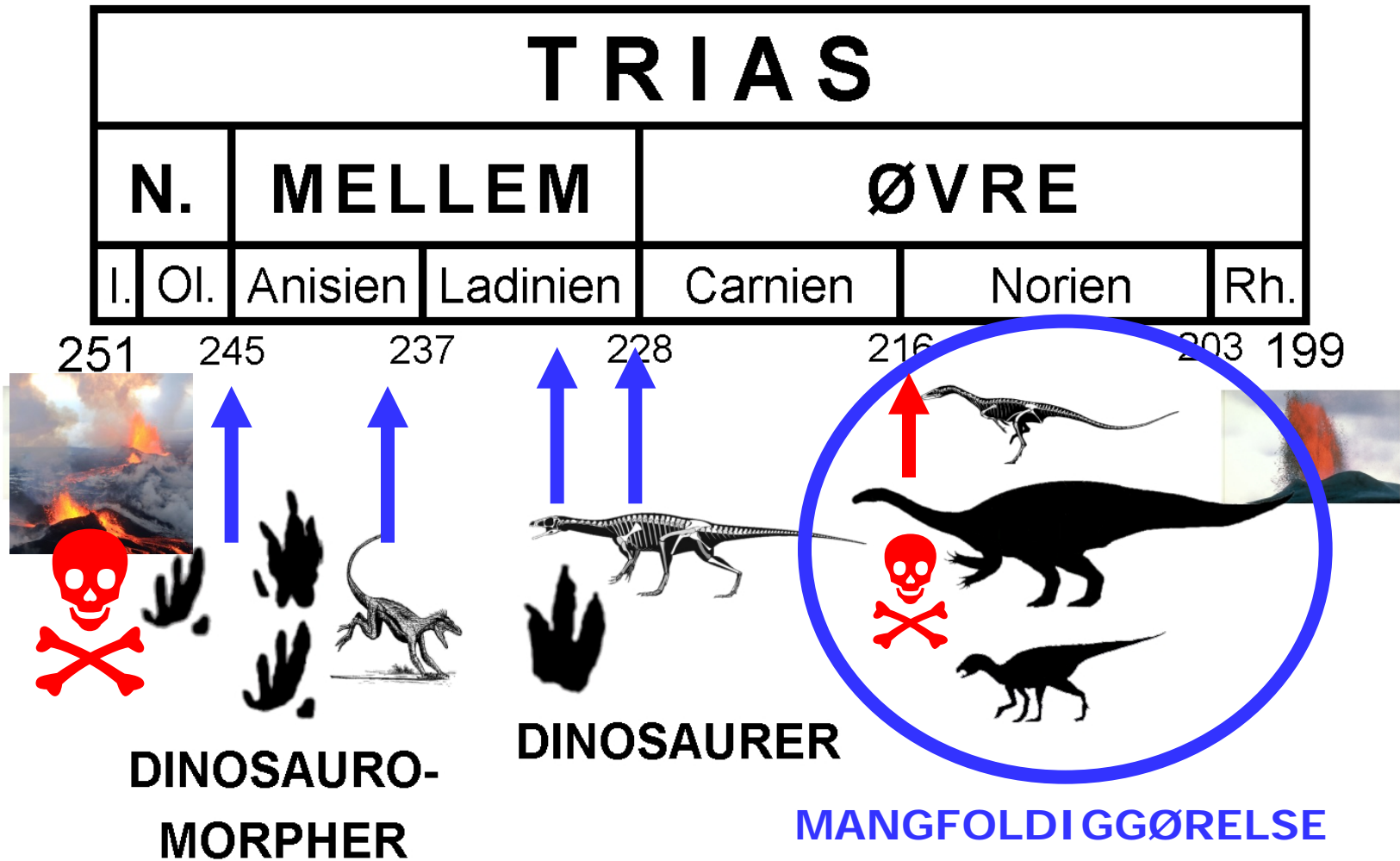


Finger IV og V
stærkt
reducerede

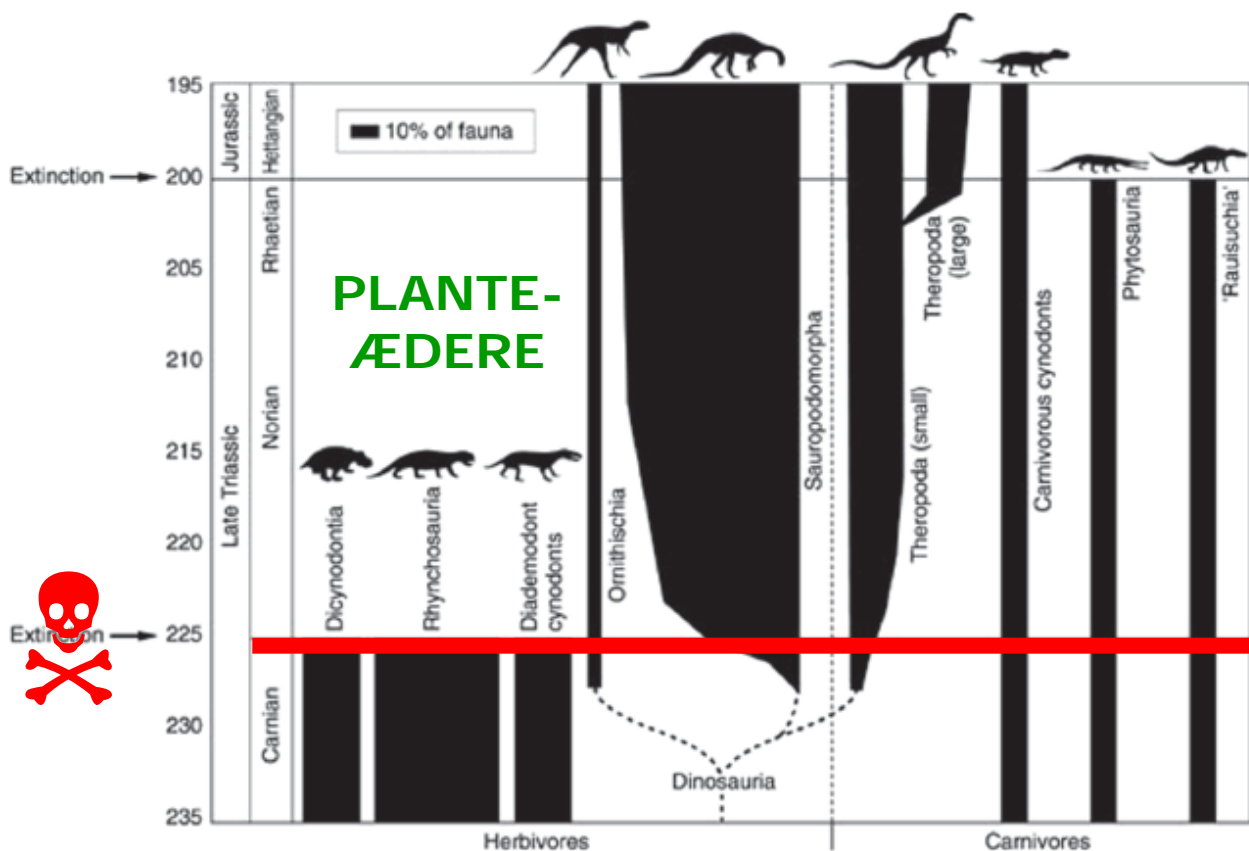
Benton (2006): The Origin of the Dinosaurs, pp 11-19 In: *III Jornadas Internacionales sobre Paleontología de Dinosaurios y su Entorno*. Salas de los Infantes, Burgos



Dinosaurerne i Trias (251 – 201 mio. år)



Ekspansion ind i tomt "økologisk rum"



Benton (2006): The Origin of the Dinosaurs, pp 11-19 In: *III Jornadas Internacionales sobre Paleontología de Dinosaurios y su Entorno*. Salas de los Infantes, Burgos

Central-Atlantiske MagmaProvins (CAMP)

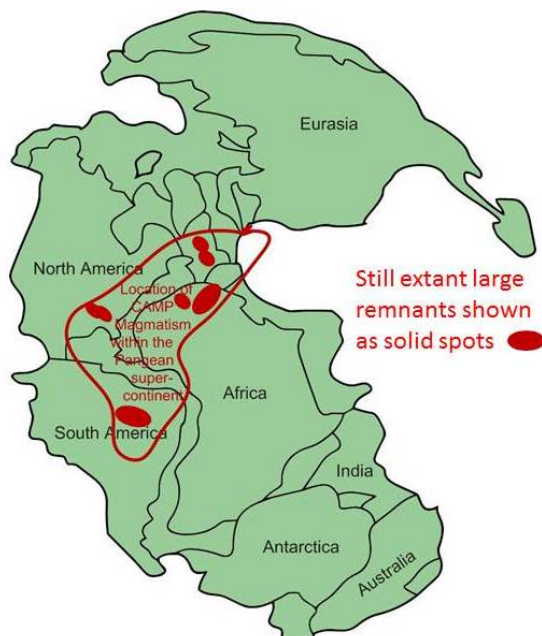


201 millioner år siden

600.000 år:

11 millioner km²

2-3 millioner km³ lava



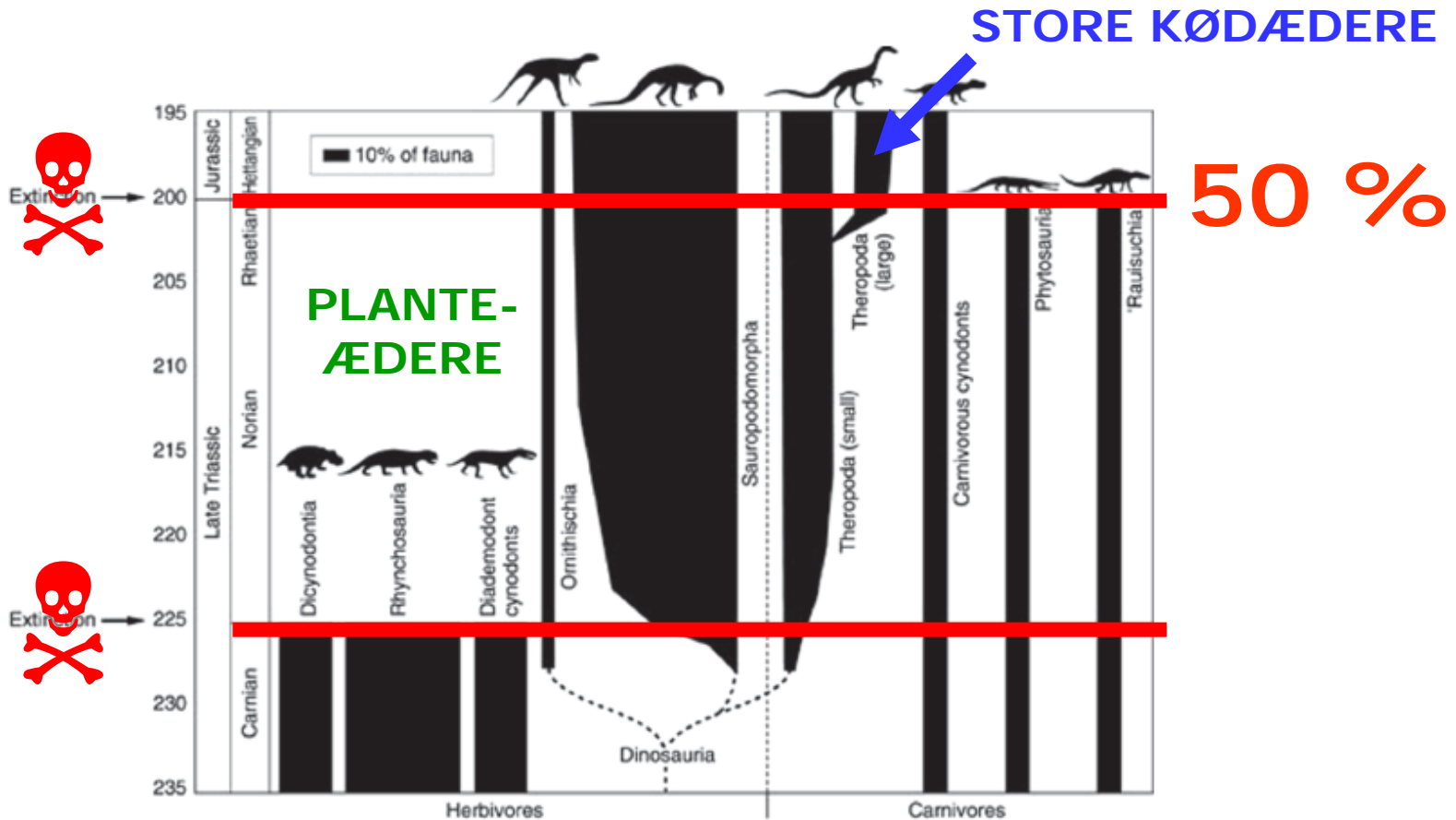
50 %

af Jordens arter uddør

Kort: Williamborg, Wikimedia



Ekspansion ind i tomt "økologisk rum"



Benton (2006): The Origin of the Dinosaurs, pp 11-19 In: *III Jornadas Internacionales sobre Paleontología de Dinosaurios y su Entorno*. Salas de los Infantes, Burgos

Program

Uddøen og masseuddøen

Fra katastrofisme til masseuddøen

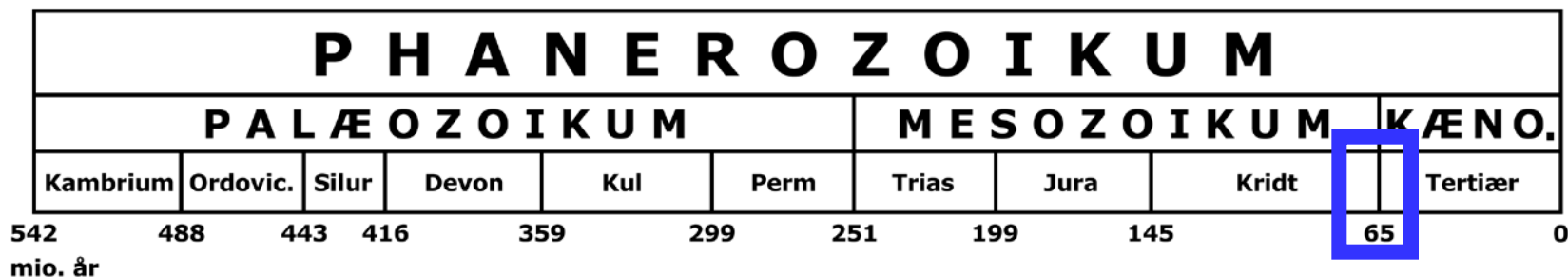
Perm/Trias

Trias/Jura

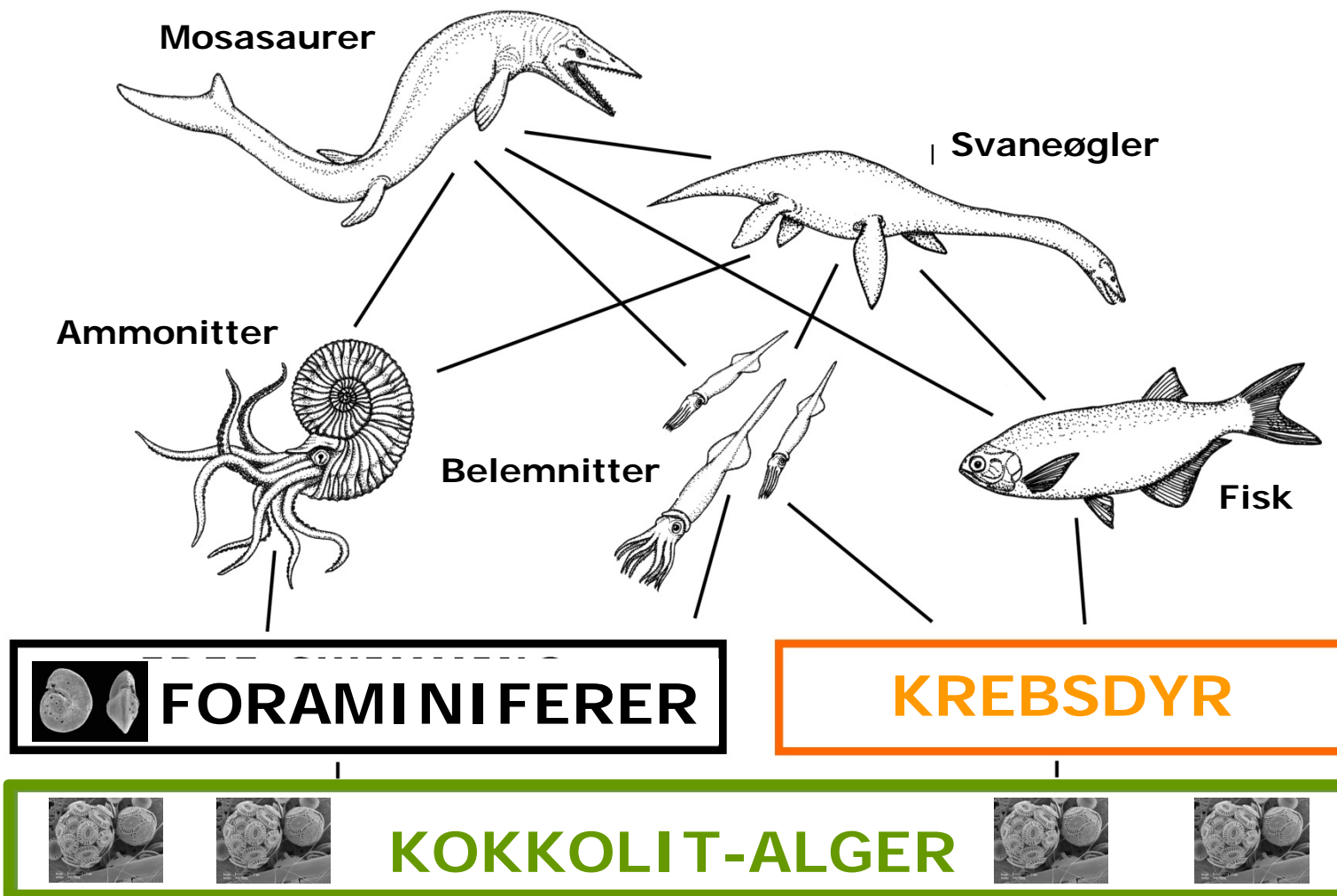
Kridt/Palæogen



Kridt og Palæogen (66 millioner år)



Fødenettet i havet i Sen Kridttid



Deccan-vulkanfelterne i Indien



(Wikimedia: Peter Hartre)

Hovedudbrud: 66 mio. år siden

Varighed: 30.000 år

Rumfang: 10.000 km³ lava

10–150 meter tykke lavalag

Vulkanske gasser: SO₂ og CO₂

Chenet, A.-L., Fluteau, F., Courtillot, V., Gérard, M. & Subbarao, K.V. (2008): Determination of rapid Deccan eruptions across the Cretaceous-Tertiary boundary using paleomagnetic secular variation: Results from a 1200-meter thick section in the Mahabaleshwar escarpment. *Journal of Geophysical Research* **113** B04101, doi: 10.1029/2006JB004635



Ekstra-terrestrisk nedslag



(Wikimedia: Don Davis/NASA)

Nedslag: 66 mio. år siden

Asteroide: 10-15 km i diameter

Hastighed: 20 – 70 km/s

Sprængkraft: 100 millioner megatons (10^6) TNT

Sted: Mexicanske Golf

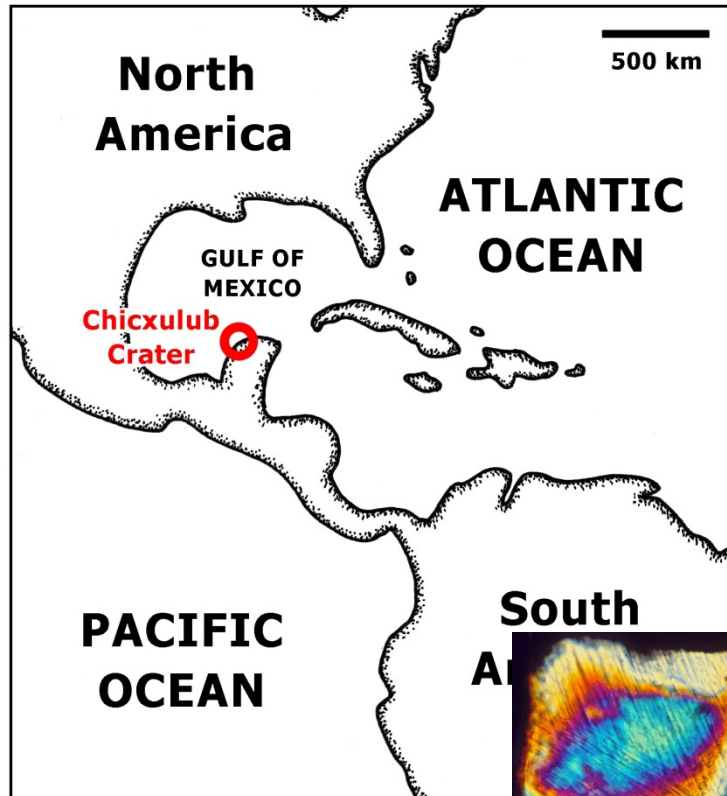
Krater: 170 km bredt

Alvarez, L.W., Alvarez, W., Asaro, F. & Michel, H.V. (1980): Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary boundary extinction. *Science* **208**, pp 1095-1108

Alvarez, L.W. (1983): Experimental evidence that an asteroid impact led to the extinction of many species 65 million years ago. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **80**, pp 627-642



Chicxulub-krateret



170 km bredt krater

15–20 kilometer dybt

66 mio. år gammelt

Verdensomspændende
Iridium-anomali

Chokkvarts & nedslagsbreccie

Chok-kvarts (Stishovit): SiO_2
> 10 GPa eller 100 kbar
> 1.200 °C

Hildebrand, A.R., Penfield, G.T., Kring, D.A., Pilkington, M., Zanoquera, A.C., Jacobsen, S.B. & Boynton, W.V. (1991): Chicxulub Crater; a possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatan Peninsula, Mexico. *Geology* **19**, pp 867-871



Et rigtigt skidt sammenfald...



Vulkanske SO₂-gasser:

Kortvarige globale nedkølinger

Syreregn og forsuring af havet

Vulkanske CO₂-gasser:

Global drivhusopvarmning

= > **Økosystemer stresses**

Støv og aske i atmosfæren:

Sollyset lukkes ude

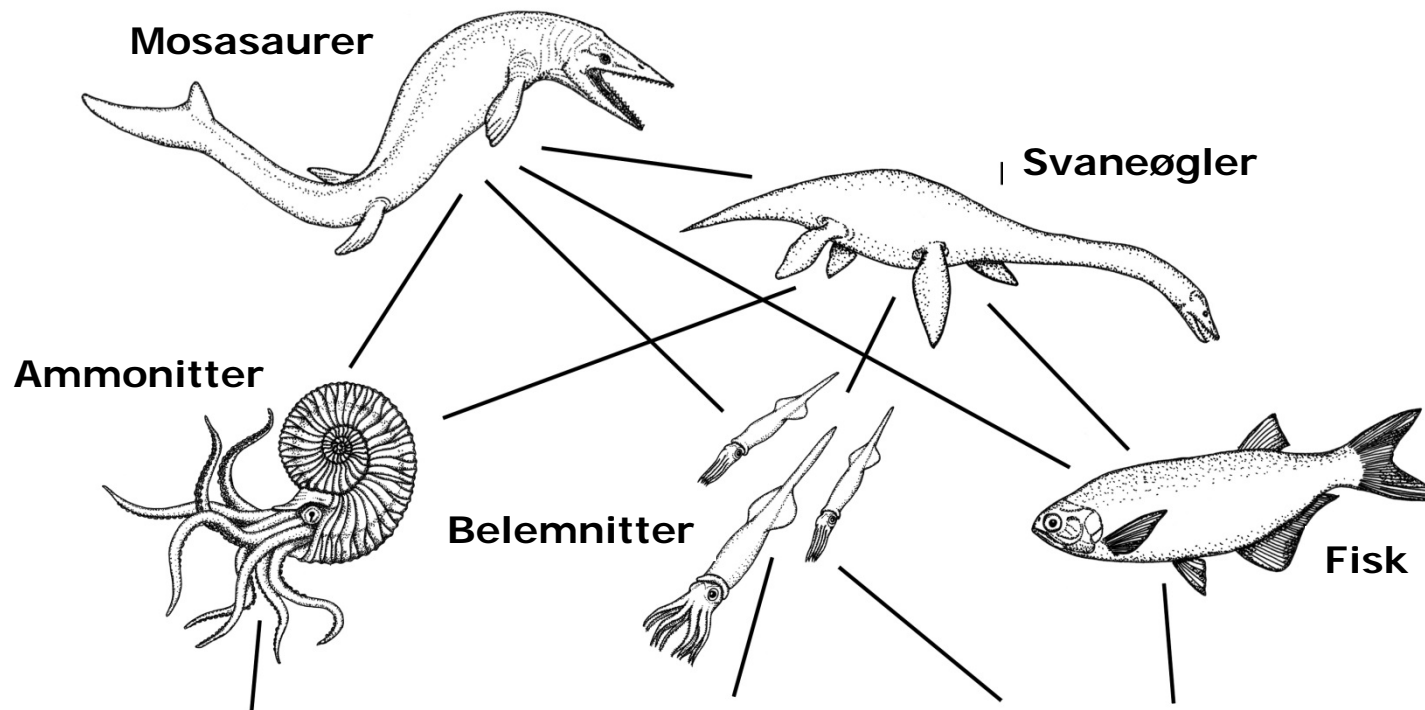
= > **Økosystemer bryder sammen**



(Wikimedia: Vulkaner - Peter Hartre; meteorit - Don Davis/NASA)



Fødenettet i havet i Sen Kridttid




FORAMINIFERER

KREBSDYR

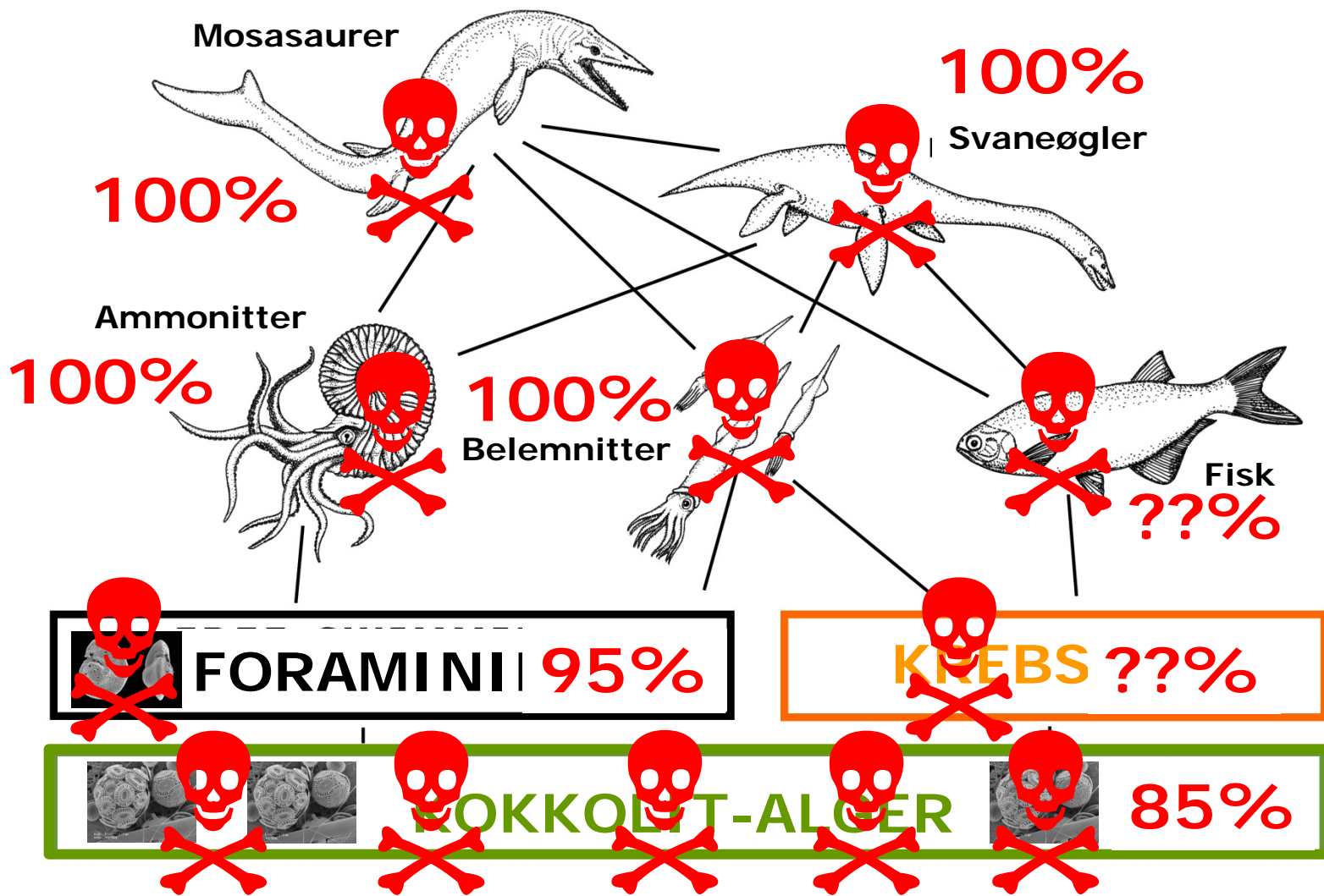



KOKKOLIT-ALGER





Fødenettet bryder sammen nedefra



Fødenet – økologisk selektivitet



Sollys-baserede fødekæde (planter og alger)



Detritus-baserede fødekæde

Sheehan, P.M. & Hansen, T.H. (1986): Detritus feeding as a buffer to extinction at the end of the Cretaceous. *Geology* **14**, pp 868-870


Gallagher, W.B. (1991): Selective extinction and survival across the Cretaceous/Tertiary boundary in the northern Atlantic coastal plain. *Geology* **19**, s. 967-970

Rhodes, M.C. & Thayer, C.W. (1991): Mass extinctions: ecological selectivity and primary production. *Geology* **19**, s. 877-880

Retallack, G.J. (2004): End-Cretaceous Acid rain as a Selective Extinction Mechanism between Birds and Dinosaurs, s. 35-64 i: Currie, P.J., Koppelhus, E.B., Shugar, M.A. & Wright, J.L. (eds.): *Feathered Dragons. Studies on the Transition from Dinosaurs to Birds*. Indiana University Press, Bloomington, Indiana.



Masseuddøen i havet

 - Coccolithophor-alger	85 %
- Svømmende foraminiferer	95 %
- Varmtvandskoraller	98 %
- Muslinger	75 %
- Ammonitter	100 %
- Belemnitter (vættelyssprutter)	100 %
- Hajer	80 %
- Svaneøgler	100 %
- Mosasaurer	100 %

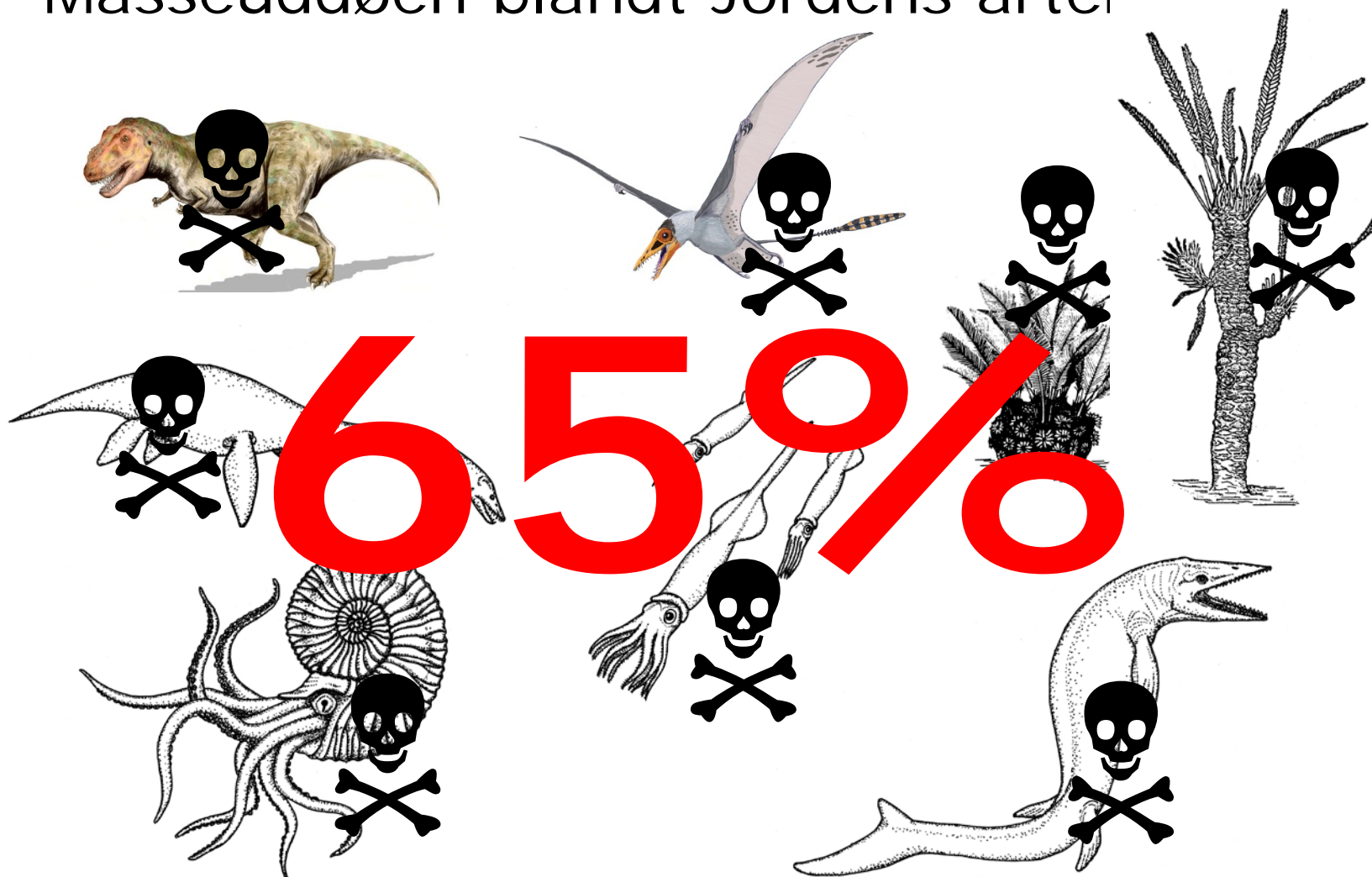
Omvæltninger

Fisk

Norris, R.D. (2001): Impact of K-T Boundary Events on Marine Life, s. 229-231 i: Briggs, D.E.G. & Crowther, P.R. (eds.): *Palaeobiology II*. Blackwell Publishing, Oxford



Masseuddøen blandt Jordens arter



Tegninger: Bent Lindow + Wikimedia: Nobu Tamura, Dmitry Bogdanov



Fugle nedstammer fra dinosaurer

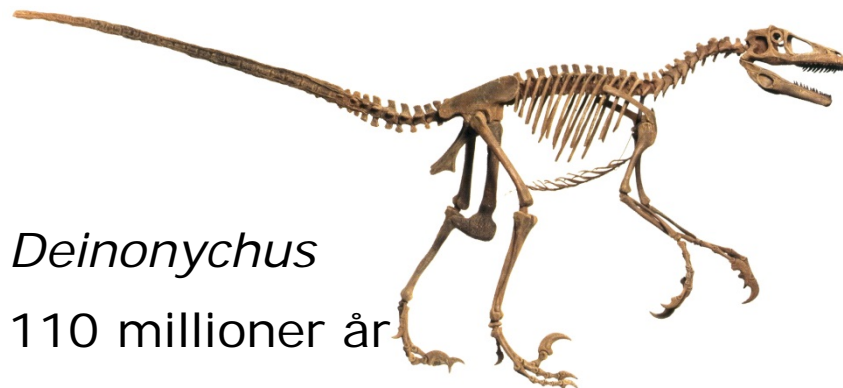
Seglklo-dinosaurer
(Dromaeosaurer)



Microraptor

125 millioner år

75 cm lang



Deinonychus

110 millioner år

3 meter lang



Anchiornis huxleyi

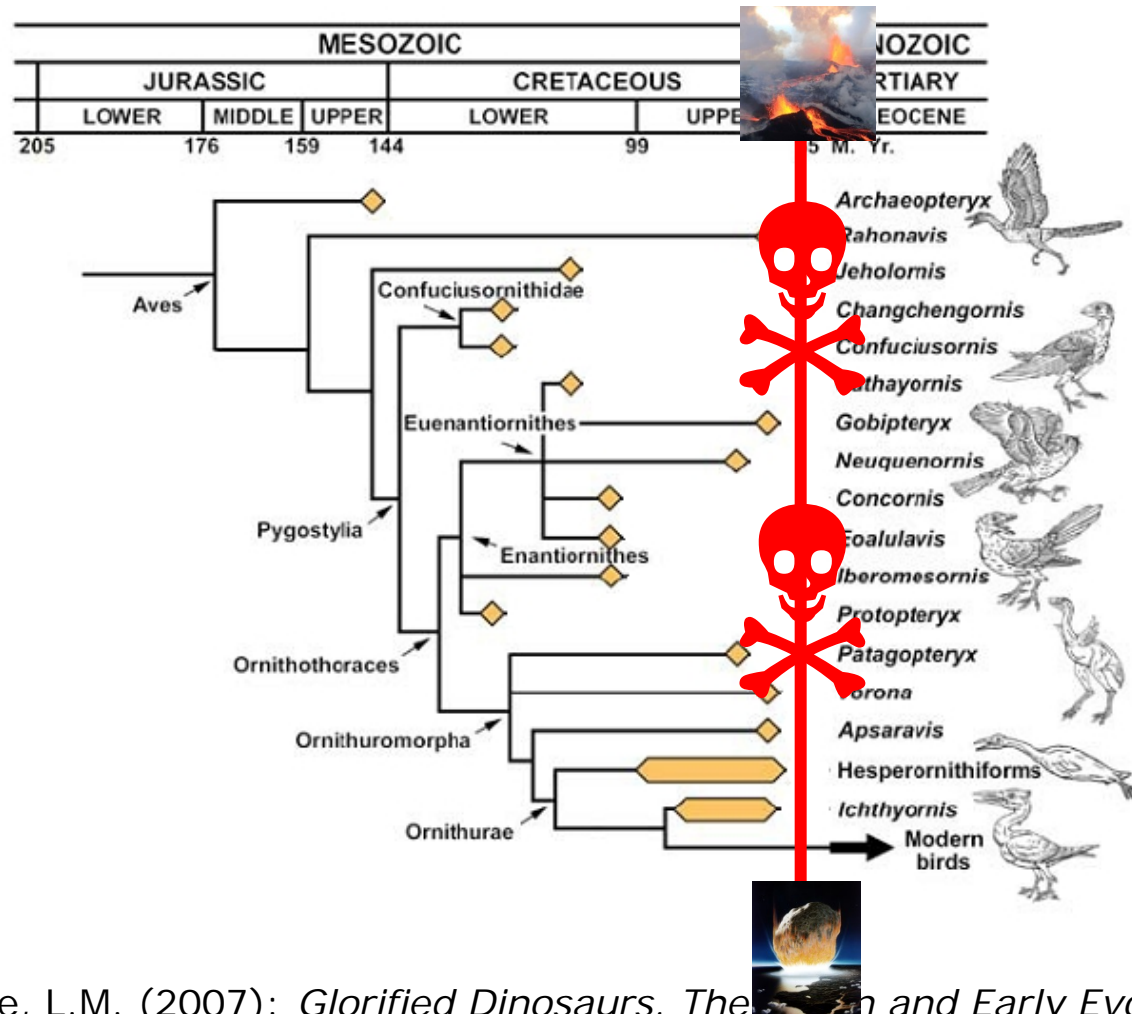
125 millioner år

35 cm lang – 110 gram



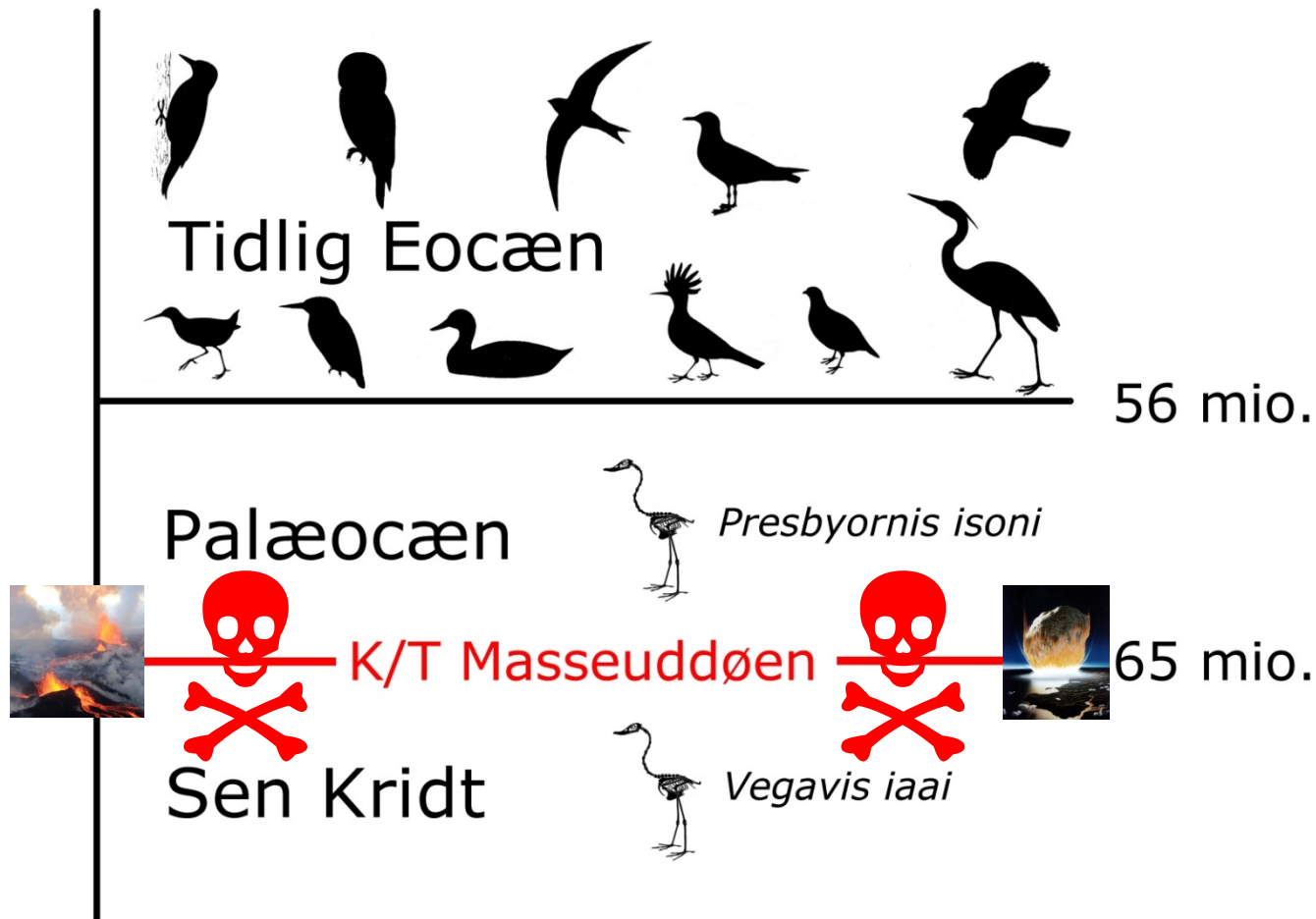
Fylogeni: Fuglenes slægtskab i Kridttiden

Fortid  Nutid



Chiappe, L.M. (2007): *Glorified Dinosaurs. The Origin and Early Evolution of Birds*. John Wiley & Sons, Hoboken, 263 pp

Tidligste fossiler af moderne fugle



Avian Phylogenomics Project

Whole Genome Analyses Resolve Early Branches in the Tree of Life of Modern Birds. *Science* 346, s. 1320-1331

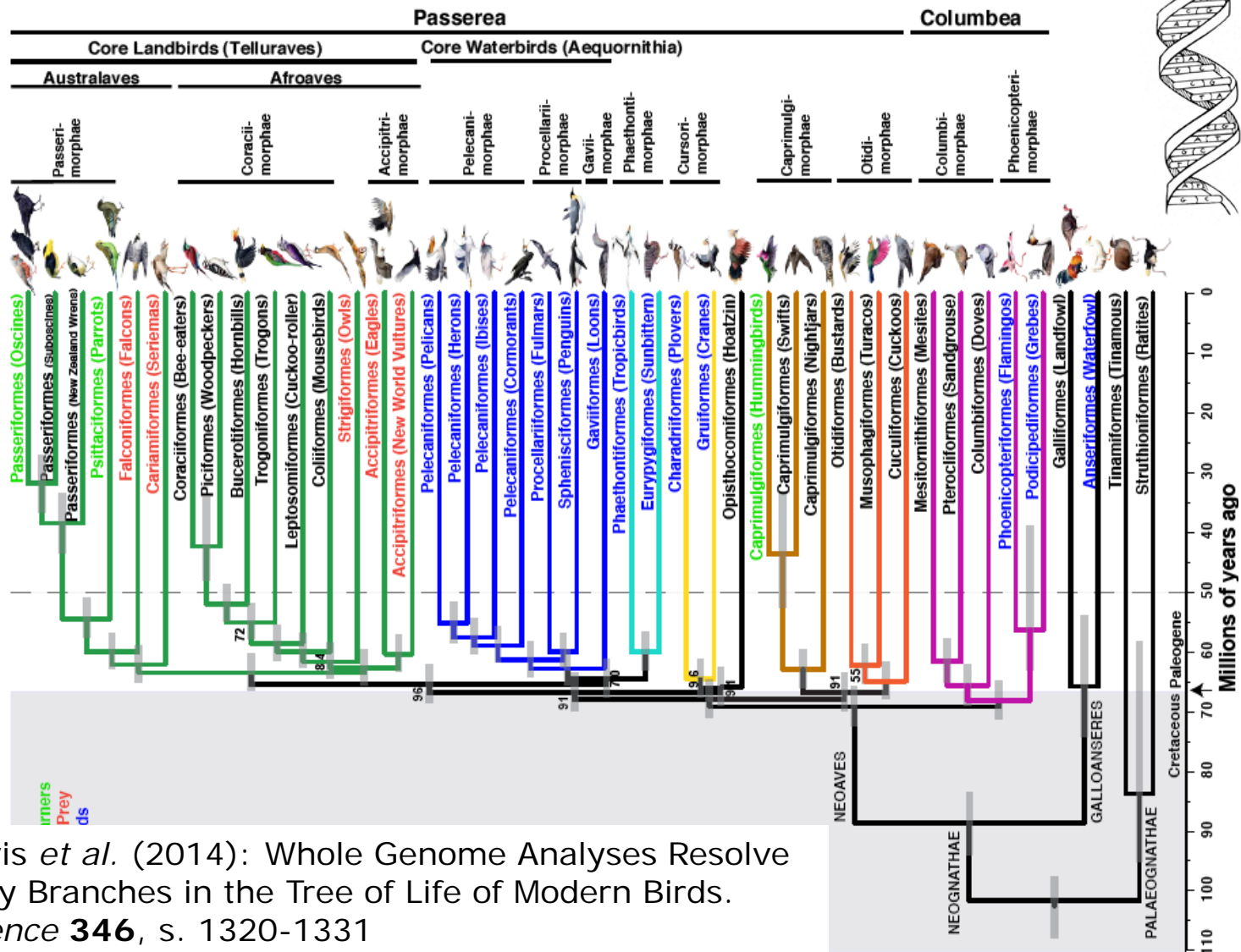
Erich D. Jarvis^{1*#}, Siavash Mirarab^{2*}, Andre J. Aberer³, Bo Li^{4,5,6}, Peter Houde⁷, **Cai Li**^{4,6}, Simon Y. W. Ho⁸, Brant C. Faircloth⁹, Benoit Nabholz¹⁰, Jason T. Howard¹, Alexander Suh¹¹, Claudia C. Weber¹¹, **Rute R. da Fonseca**⁶,    Ganapathy¹, Ganesh Subramanian¹⁸, S. Rekepalli¹⁹, Richard E. G. Yinhua Huang²⁶, Brumfield³², Francisco Prosd **Alfaro-Núñez**⁶, Paul Scofield⁴¹, Beth Shapiro²⁵, Xiao⁴, Xiong Y. Frank E. Rheind **Jønsson**^{49,51,52}, A. Ryder⁵⁸, **Car** McCormack⁶², Dave Burt⁶³, Hans Ellegren¹¹, Per Alström^{64,65}, Scott V. Edwards⁶⁰, Alexandros Stamatakis^{3,67}, David P. Mindell⁶⁸, Joel Cracraft⁶⁹, Edward L. Braun⁷⁰, Tandy Warnow^{2#}, Wang Jun^{46,71,71,73,74#}, **M Thomas P Gilbert**^{6,49#}, Guojie Zhang^{4,49#}, Nitish Narula^{7,12}, Liang Liu¹³, Ganesh Subramanian¹⁸, S. Rekepalli¹⁹, Richard E. G. Yinhua Huang²⁶, Brumfield³², Francisco Prosd **Alfaro-Núñez**⁶, Paul Scofield⁴¹, Beth Shapiro²⁵, Xiao⁴, Xiong Y. Frank E. Rheind **Jønsson**^{49,51,52}, A. Ryder⁵⁸, **Car** McCormack⁶², Dave Burt⁶³, Hans Ellegren¹¹, Per Alström^{64,65}, Scott V. Edwards⁶⁰, Alexandros Stamatakis^{3,67}, David P. Mindell⁶⁸, Joel Cracraft⁶⁹, Edward L. Braun⁷⁰, Tandy Warnow^{2#}, Wang Jun^{46,71,71,73,74#}, **M Thomas P Gilbert**^{6,49#}, Guojie Zhang^{4,49#}, David Ray^{22,23,24}, Ning Li²⁹, Ning Li³⁰, Robb T. **Alfonso**^{35,36}, **Alfonso**³⁹, Tom Bailey⁴⁰, Amy C. Driskell⁴⁵, Kui Wu⁴, Jin Linnea Smeds¹¹, **Knud Andreas** Haussler⁵⁷, Oliver Glenn⁶¹, John

82 forskere i 16 lande

48 hele genomer fra fuglearter

3 års arbejde

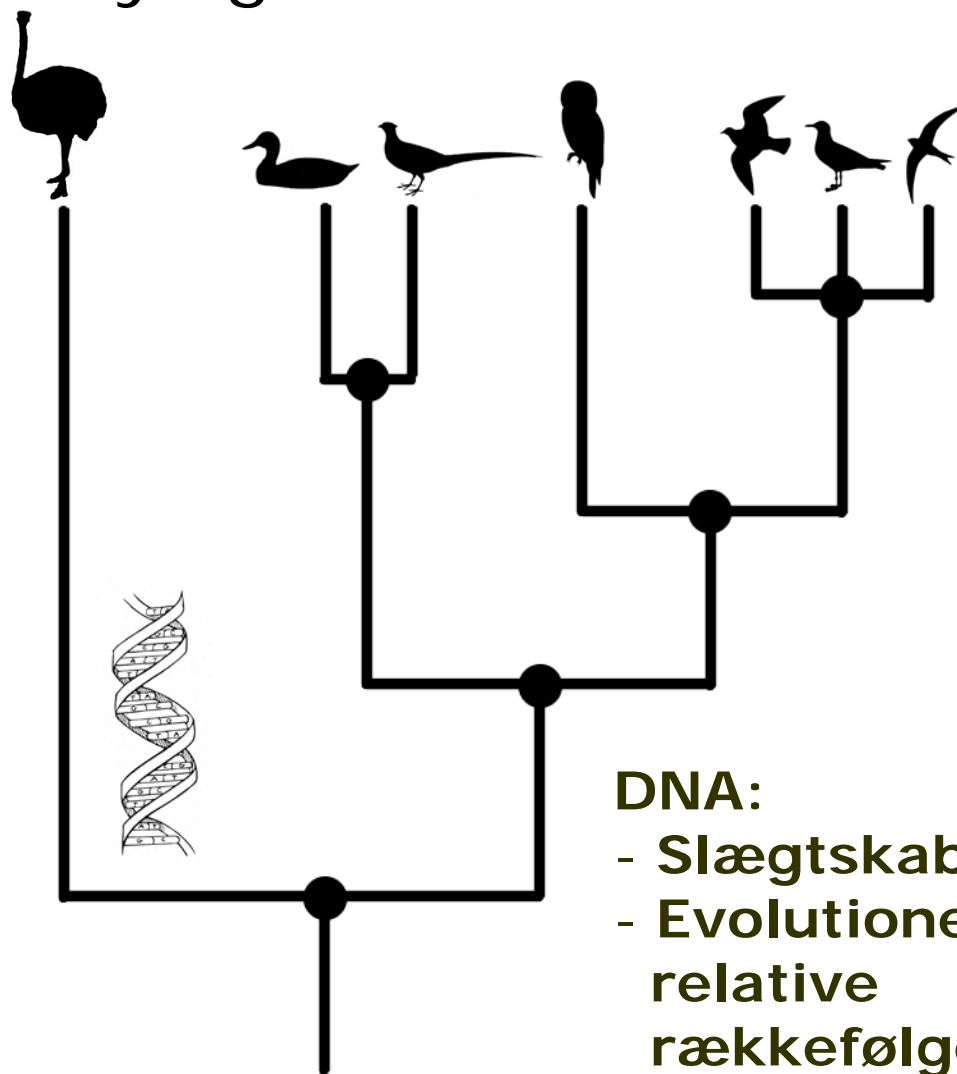
Resultatet: en kæmpestor fylogeni



Jarvis *et al.* (2014): Whole Genome Analyses Resolve Early Branches in the Tree of Life of Modern Birds. *Science* **346**, s. 1320-1331



Meget forenklet fylogeni



DNA:

- Slægtskab
- Evolutionens relative rækkefølge



Fossiler: Evolutionære mellemtider



Joel Cracraft
*American Museum
of Natural History*



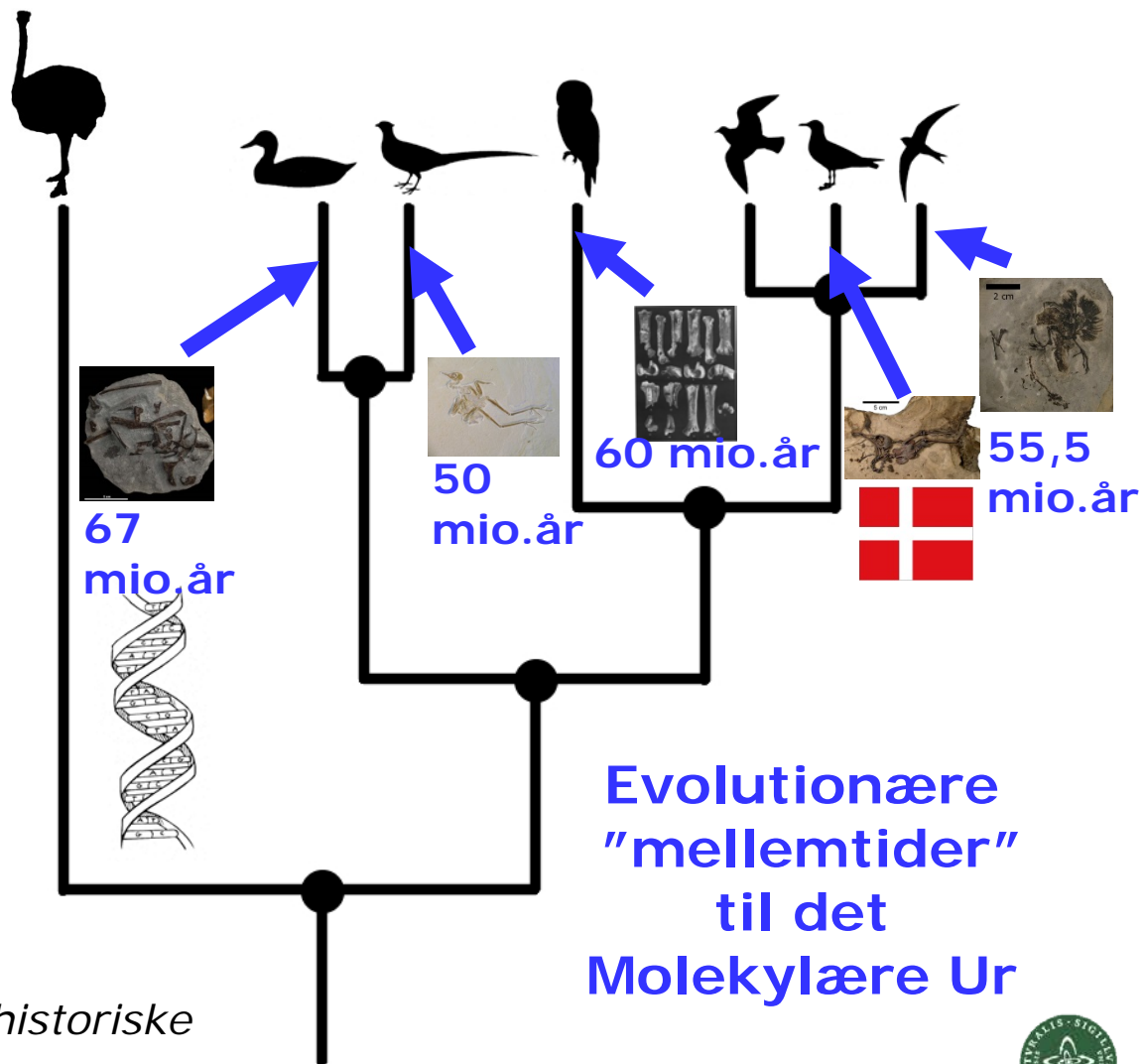
Peter Houde
*New Mexico State
University*



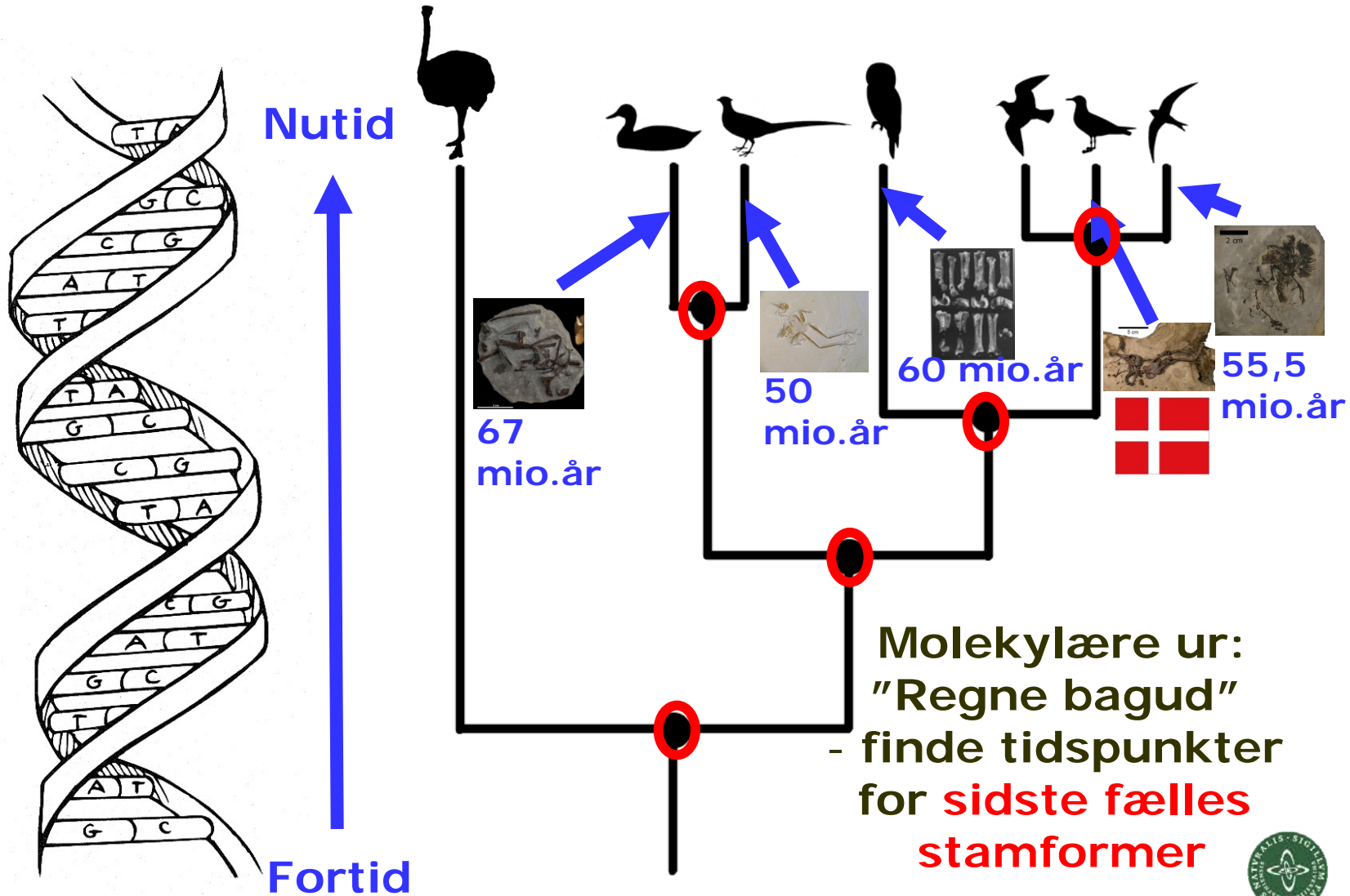
Jon Fjeldså
*Statens
Naturhistoriske
Museum*



Bent Lindow
*Statens Naturhistoriske
Museum*

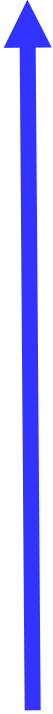


DNA + fossiler => mutationsrater

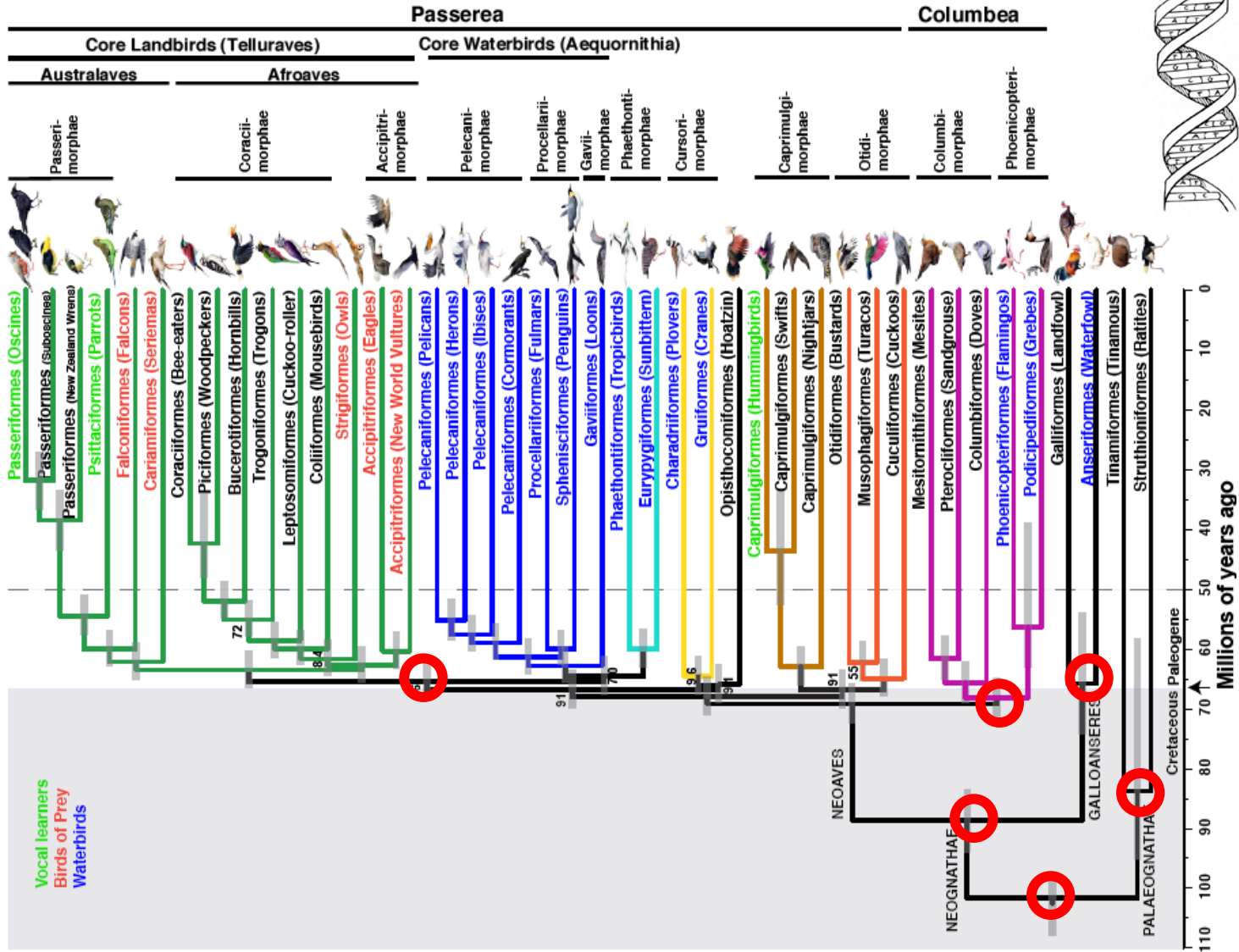


Fylogenen fortæller om fortiden

Nutid

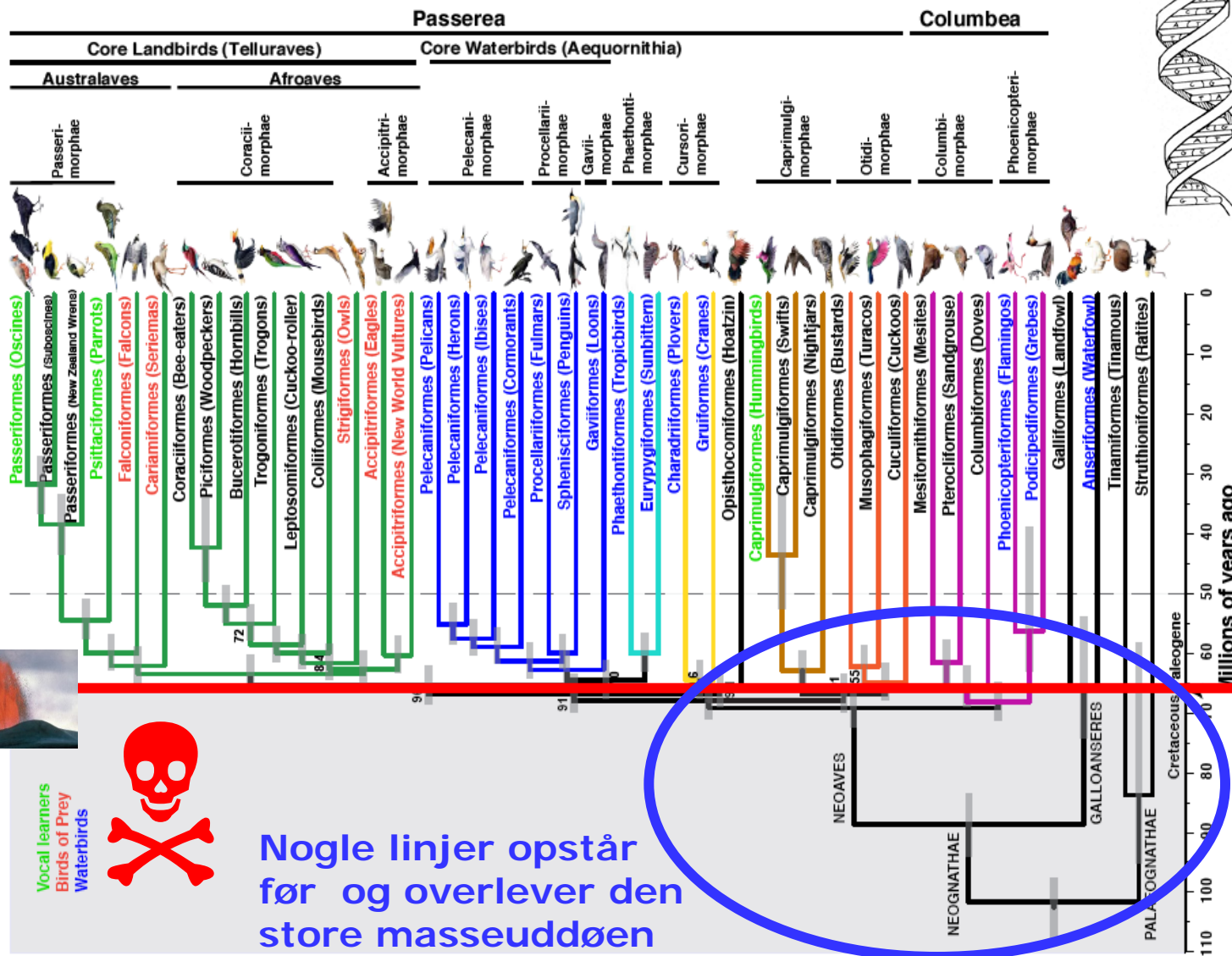
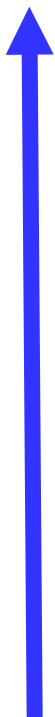


Fortid



Fylogenen fortæller om fortiden

Nutid



Fortid

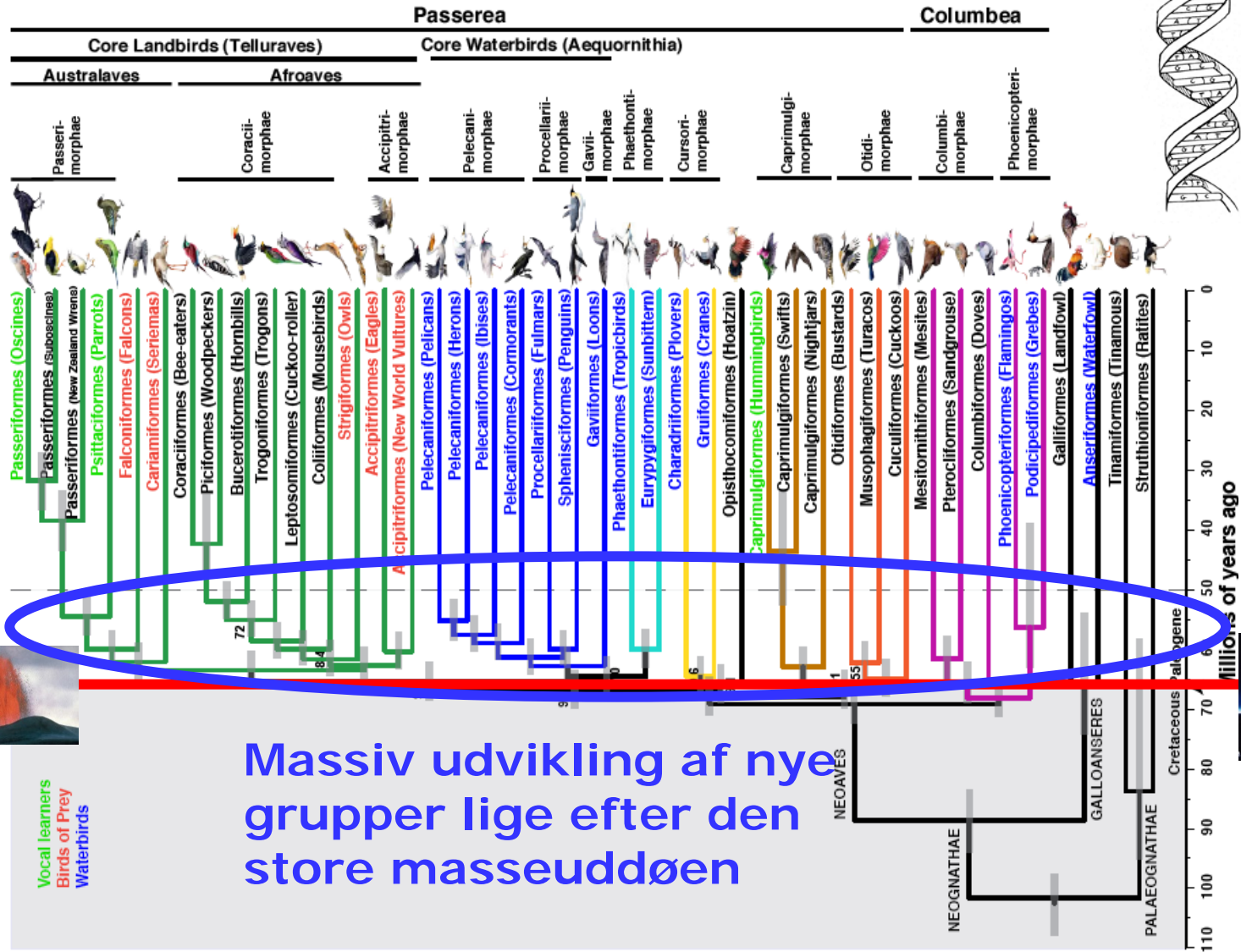
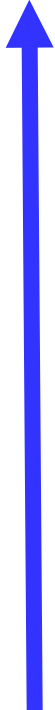
Vocal learners
Birds of Prey
Waterbirds



Nogle linjer opstår før og overlever den store masseuddøen

Fylogenien fortæller om fortiden

Nutid



Massiv udvikling af nye grupper lige efter den store masseuddøen

Fortid



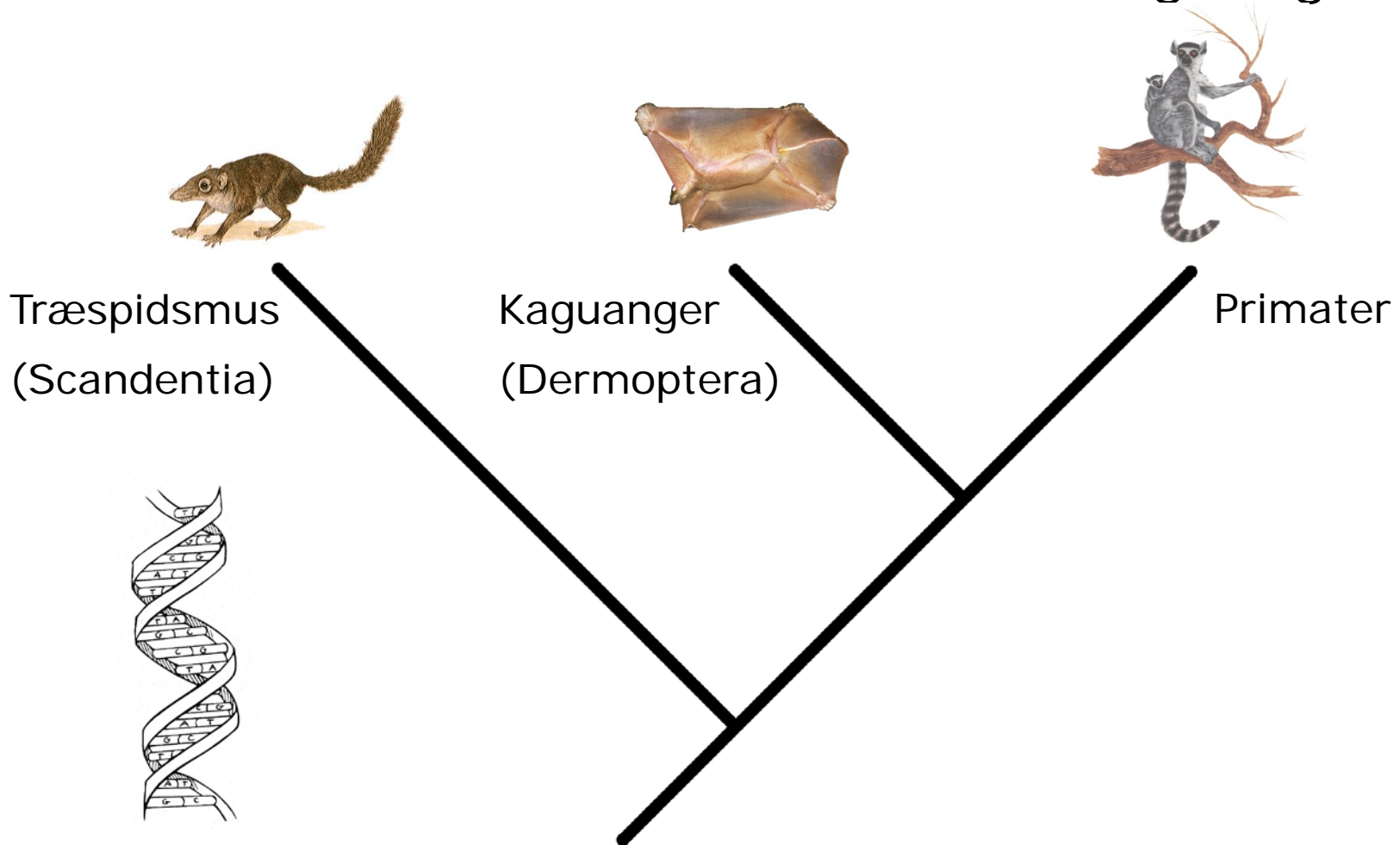
Avian Phylogenomics Project

<http://avian.genomics.cn/en/>



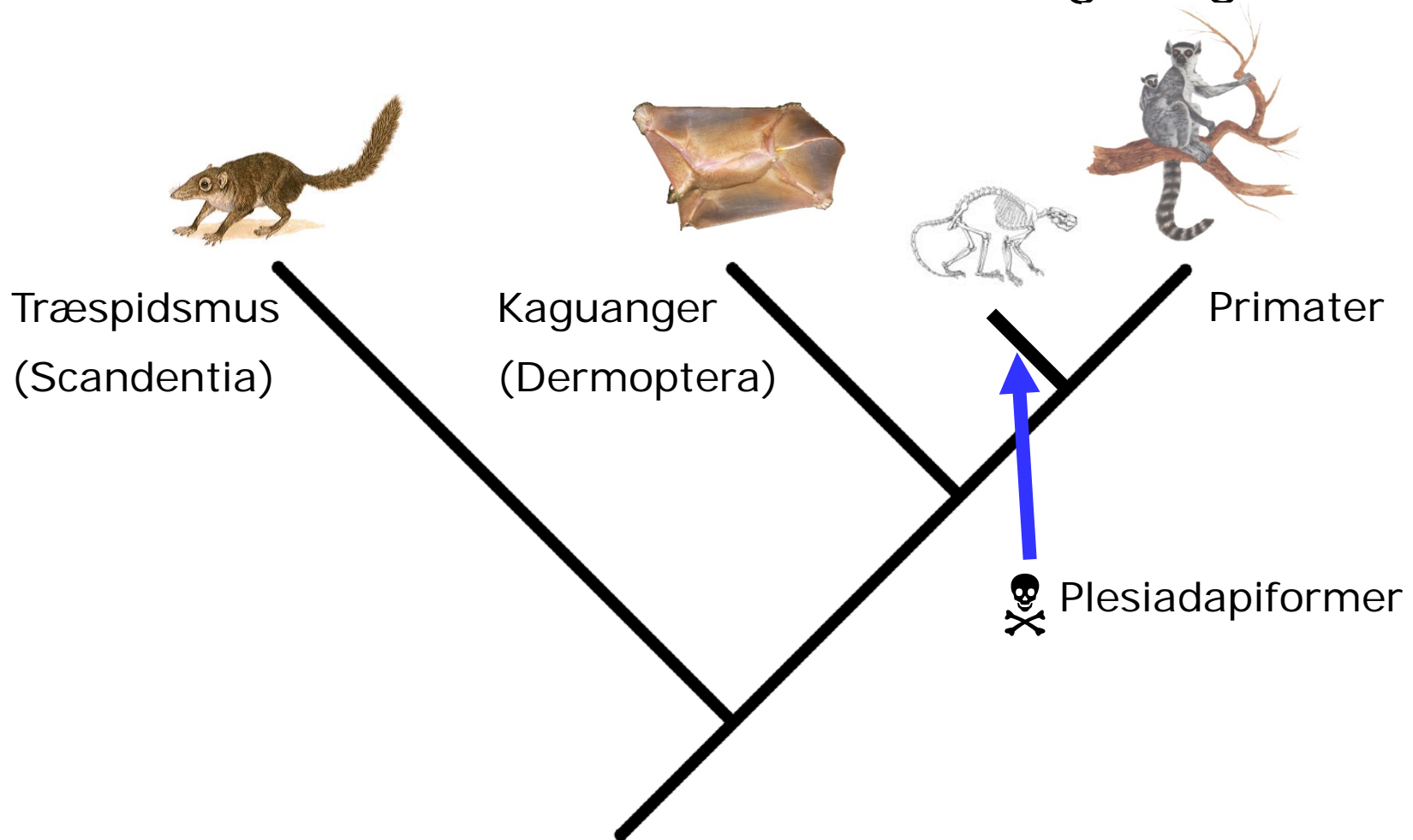
Science: 8 artikler
+ 20 artikler i andre
tidsskrifter

Primaternes nærmeste nulevende slægtninge



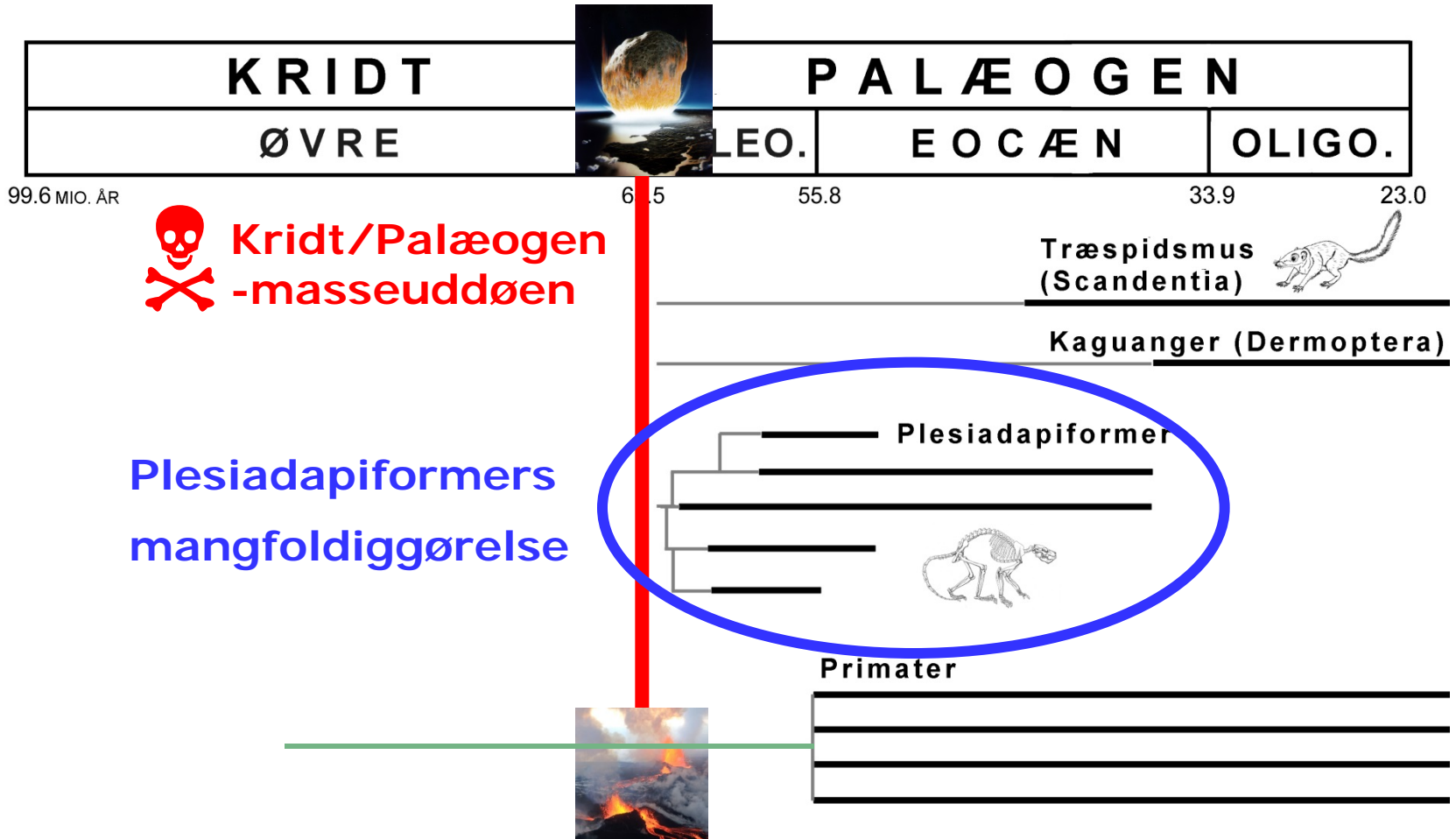
Janečka, J.E., Miller, W., Pringle, T.H., Wiens, F., Zitzmann, A., Helgen, K.M., Springer, M.S. & Murphy, W.J. (2007): Molecular and Genomic Data Identify the Closest Living Relative of Primates. *Science* **318**, pp792–794

Primaternes nærmeste uddøde slægtninge



Bloch, J.I., Silcox, M.T., Boyer, D.M. & Sargis, E.J. (2007): New Paleocene skeletons and the relationships of plesiadapiforms to crown-clade primates. *Proceedings National Academy of Sciences* **104** (4), pp 1159-1164

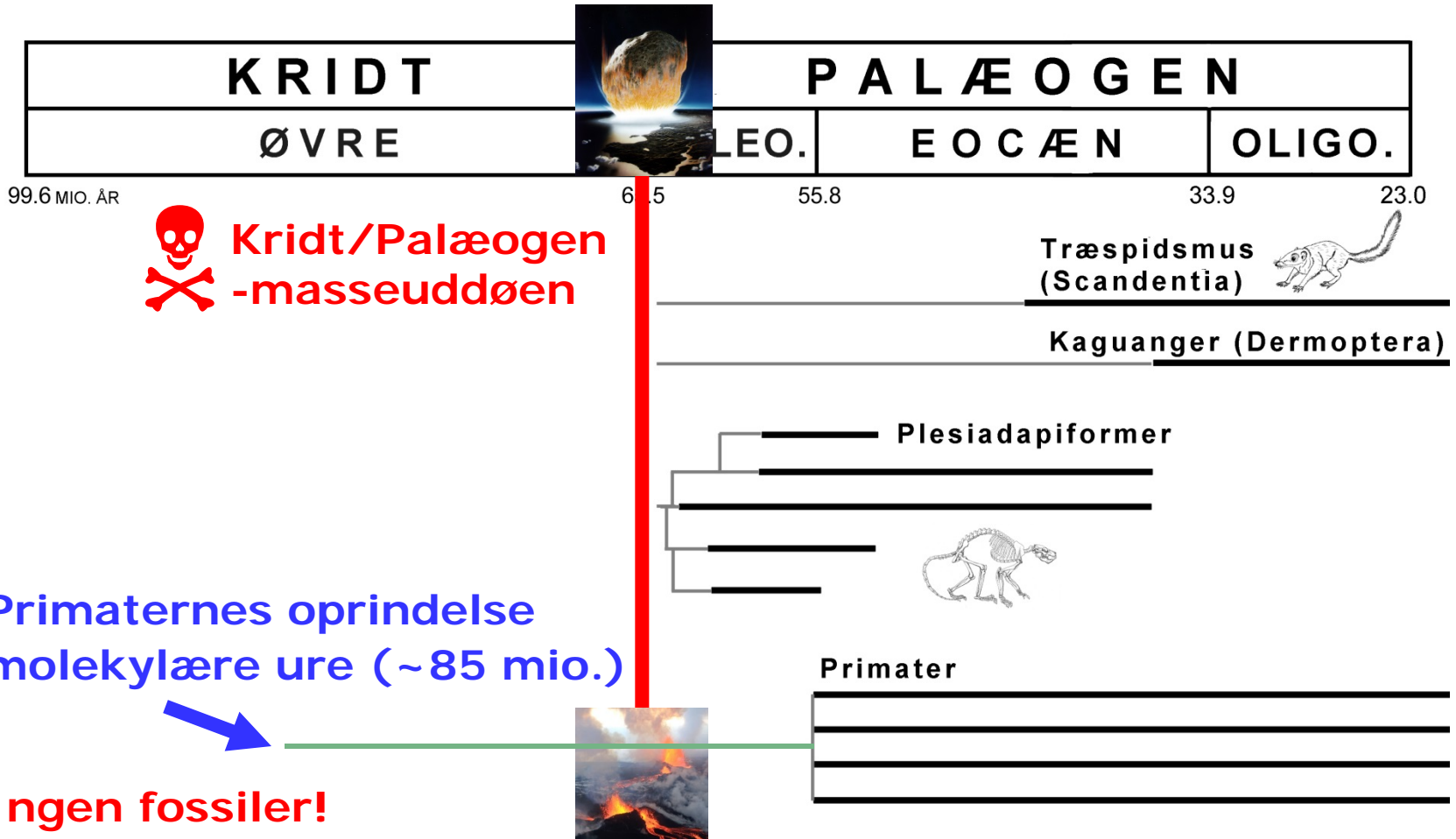
Plesiadapiformer (65-37 mio. år siden)



Bloch, J.I., Silcox, M.T., Boyer, D.M. & Sargis, E.J. (2007): New Paleocene skeletons and the relationships of plesiadapiforms to crown-clade primates. *Proceedings National Academy of Sciences* **104** (4), pp 1159-1164



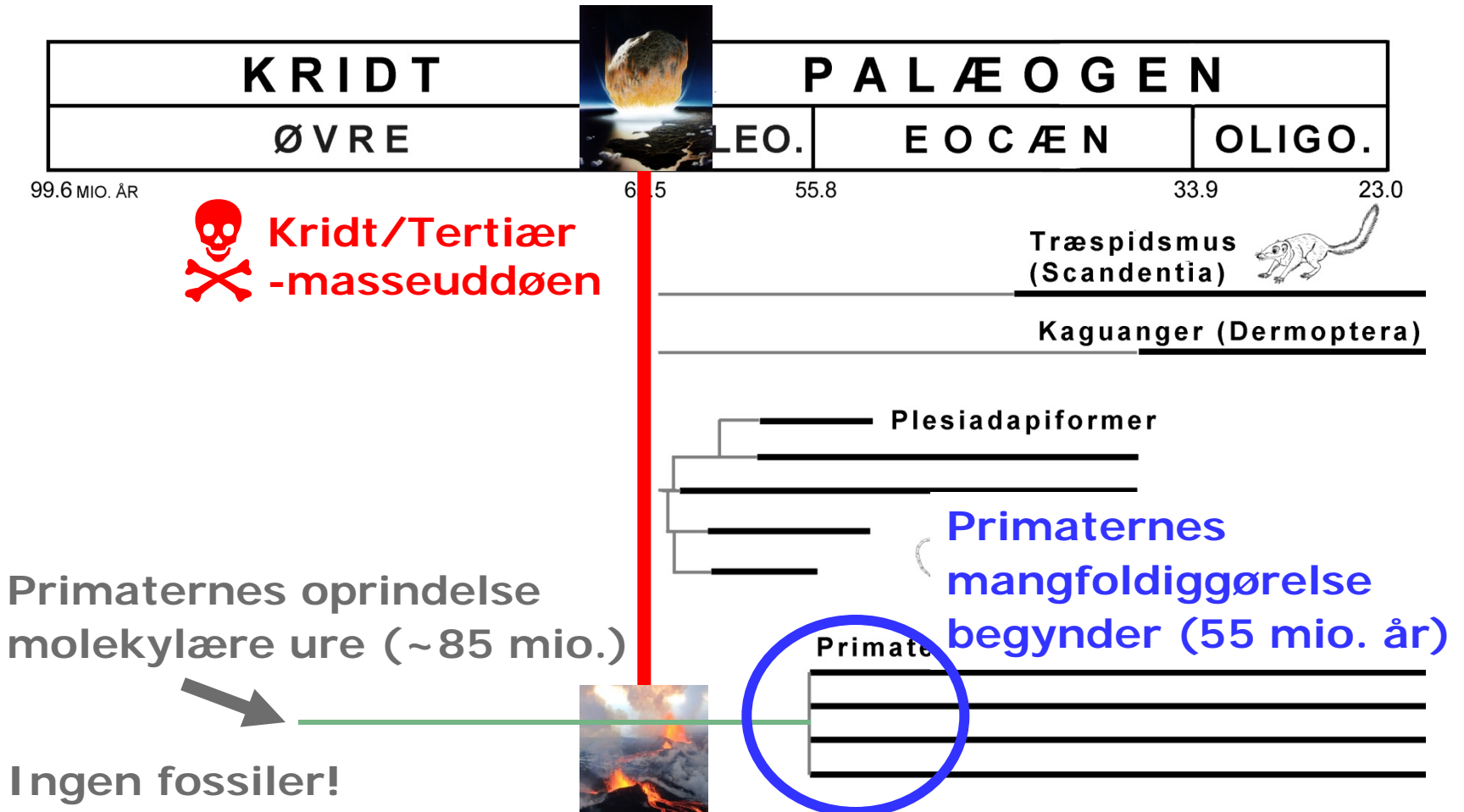
Plesiadapiformer (65-37 mio. år siden)



Bloch, J.I., Silcox, M.T., Boyer, D.M. & Sargis, E.J. (2007): New Paleocene skeletons and the relationships of plesiadapiforms to crown-clade primates. *Proceedings National Academy of Sciences* **104** (4), pp 1159-1164



Plesiadapiformer (65-37 mio. år siden)



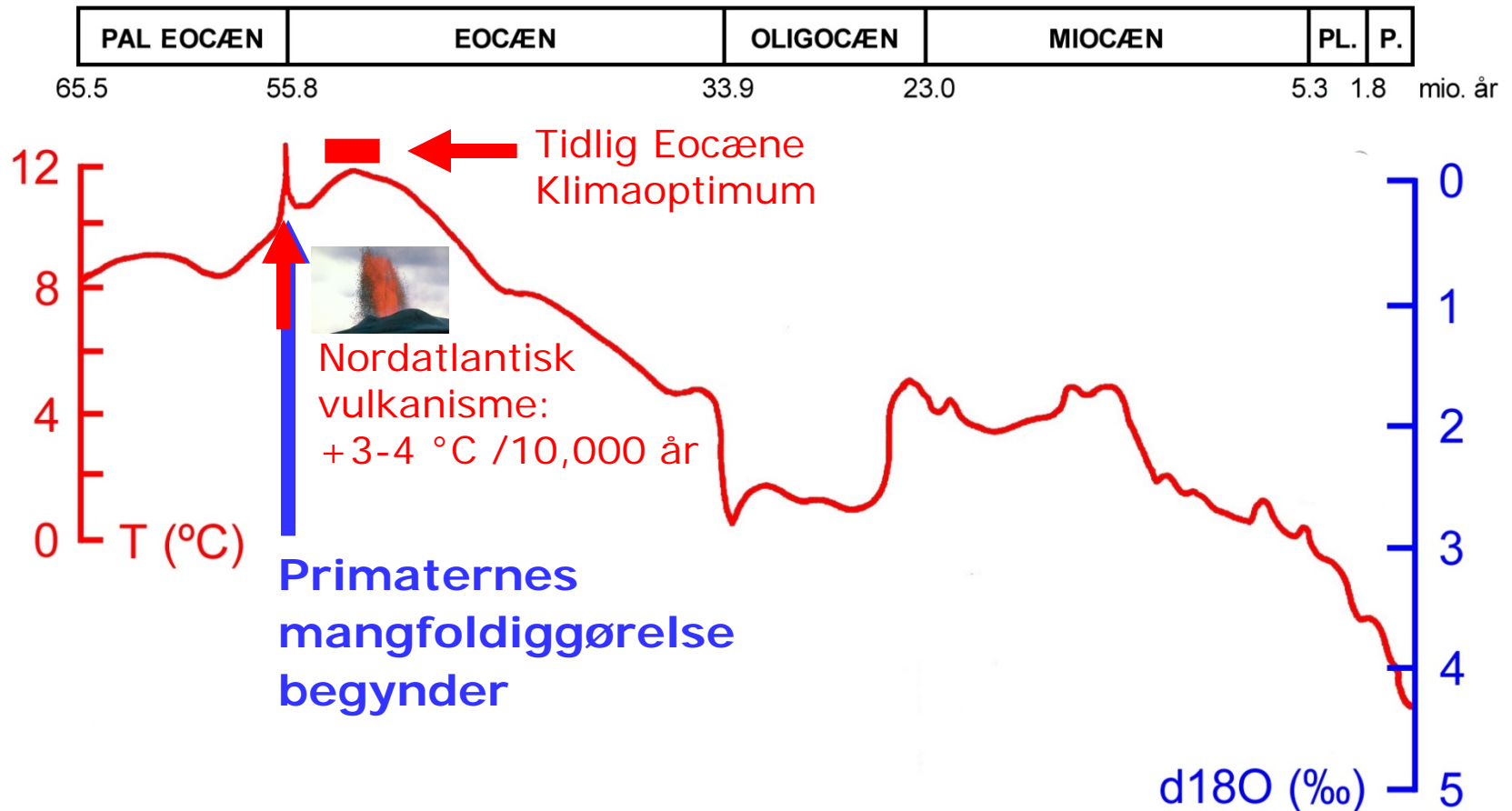
Primaternes oprindelse
molekylære ure (~85 mio.)

Ingen fossiler!

Bloch, J.I., Silcox, M.T., Boyer, D.M. & Sargis, E.J. (2007): New Paleocene skeletons and the relationships of plesiadapiforms to crown-clade primates. *Proceedings National Academy of Sciences* **104** (4), pp 1159-1164



Proxy-temperaturkurve 65-0 mio. år



Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E. & Billups, K. (2001): Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present. *Science* **292**, pp 686-693



Mangfoldiggørelse efter masseuddøen

I Jordens historie ser vi gentagne gange at:

En masseuddøen udrydder et væld af arter med bestemte økologiske roller

Kort tid efter katastrofen udvikles der nye arter, som overtager de uddøde arters "gamle" økologiske roller

OG

samtidig udvikles en mangfoldighed af nye arter, med helt **nye** økologiske roller



Perm/Trias-masseuddøen I

Fandt sted for 251 millioner år siden

Den ubetinget værste økologiske katastrofe i Jordens historie – på under 200.000 år forsvandt 90 til 95% af Jordens arter.

Skyldtes massiv vulkanisme – De Sibiriske Trapper – hvor lavafelterne dækkede et areal på størrelse med Australien og udledte enorme mængder CO_2 og HCl i atmo- og stratosfæren.

Kombinationen af global drivhusopvarmning og syreregn forsurede havene. På land blev plantevæksten syret væk, med massiv erosion til følge, der skyllede store mængder næringsstoffer ud i havene og bidrog til naturlig overgødsning (eutrofiering) af havene og efterfølgende globalt iltsvind.

De geologiske lag på grænsen skifter markant fra f.eks. fossilrige kalksten til døde, organisk-rige skifre i havet og massive, grovkornede erosions aflejringer på land.



Perm/Trias-masseuddøen II

Geokemiske undersøgelser af ilt-isotoper ($^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$) fra fossile tænder af conodont-dyr viser vedvarende, stærkt forhøjede havtemperaturer i perioden lige efter katastrofen; måske op til 38 °C eller endda over 40 °C i havoverfladen.

Ved meget høje vandtemperaturer får dyr med gæller svært ved at optage ilten. Planter begynder at fotorespirere i stedet for at fotosyntetisere ved temperaturer over 35 °C; ved fotorespiration bruger de O til at vokse i stedet for CO_2 , og de vokser meget langsommere. Ved konstante temperaturer over 40 °C visner planter bort.

"Hullet i kullet" (*Coal Gap*) er en periode på 7 millioner år efter katastrofen, hvor der ikke aflejres kul nogen steder overhovedet på planeten og det tyder på, at der ikke fandtes nævneværdige skove. Planterne var først skadet af syrerregn fra vulkanudbruddene, og derefter forhindret i at genetablere sig grundet det CO_2 -inducerede varmechok.



Perm/Trias-masseuddøen III

De organismer, der overlevede katastrofen var både generalister og heldige; enkelte arter kunne brede sig globalt uden den normale konkurrence fra andre.

Blandt de landlevende hvirveldyr uddør de fleste af de i Perm-tiden dominerende synapsider (slægtninge og stamformer til pattedyrene). Efter masseuddøen bliver en ny gruppe hvirveldyr – diapsiderne – i stedet de dominerende, og især archosaurerne, den gruppe som krokodiller, flyveøgler, dinosaurer og fugle tilhører.

Efter katastrofen vender firbenede landdyr for første gang tilbage til havet siden de gik på land i Devon for o. 395 million år siden. I tidligste Trias tilpasser mindst eller fem udviklingslinjer sig helt eller delvist et liv i saltvand, heriblandt hvaløgler (ichthyosaurer) og svaneøgler (plesiosaurer).

Tidligt i Trias udvikles de første flyvende hvirveldyr: flyveøglerne.



Trias/Jura-masseuddøen I

Fandt sted for 201 millioner år siden

Omkring 50% af Jordens arter uddøde.

Skyldtes sandsynligvis massiv vulkanisme i midten af superkontinentet Pangæa, der sprækkede op. Vulkanfelterne kaldes den Central-Atlantiske MagmaProvins (CAMP) og de fossile lavalag er i nutiden spredt omkring det centrale Atlanterhav

Masseuddøen var med til at bane vejen for dinosaurerne som de dominerende landdyr. Sammen med en tidligere, mindre masseuddøen (end-Carnian) udryddede den deres konkurrenter blandt archosaurerne, og dinosaurerne kom bedst fra start og kunne udvikle sig ind i og overtage forskellige økologiske nicher.



Trias/Jura-masseuddøen II

Links til populære artikler om dansk forskning i Trias/Jura-masseuddøen:

<http://geocenter.dk/xpdf/geoviden-1-2016.pdf>

<https://videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/giga-vulkan-skabte-jordskaelv-i-england-og-danmark>

<https://videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/populaer-teori-masseuddoen-holder-ikke-vand>

<https://videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/kaedereaktion-draebte-halvdelen-af-livet-pa-jorden>

<https://eng.geus.dk/about/news/news-archive/2019/oct/mutant-ferns/>



Kridt/Palæogen-masseuddøen I

Fandt sted for 66 millioner år siden

Omkring 65% af Jordens arter uddøde.

Skyldtes et utroligt uheldigt sammenfald af massiv vulkanisme på det indiske kontinent – Deccan-vulkanfelterne – der udledte CO₂- og SO₂-gasser i atmo- og stratosfæren. Det stressede de globale økosystemer ved forsurening og let syrerregn, samt kort perioder med nedkøling (SO₂) på en baggrund af langsom opvarmning (CO₂)

Samtidig slog en 10-15 km bred asteroide ned i det daværende Caribiske Hav, og ramte uheldigvis meget svovlholdige aflejringer. De pulveriserede rester af asteroiden og lagene å nedslagstedet blev sendt op i atmo- og stratosfæren, hvor de dækkede for sollyset og bidrog til nedkøling og syrerregn (SO₂) i en længerevarende årrække.

Denne kombination ramte de fotosyntese-baserede fødenet hårdest ramt og de kollapsede nedefra.



Kridt/Palæogen-masseuddøen II

Populær artikel og link om dansk forskning i K/Pg-masseuddøen:

Schrøder (2019): Asteroidenedslag på Jorden og dinosaurernes endeligt – spor i Stevns Klint. *KVANT* **30** (3), s. 3-7

https://www.geocenter.dk/wp-content/uploads/2018/07/Geoviden_3_2014.pdf

https://snm.ku.dk/SNMnyheder/alle_nyheder/2014/2014.12/forskere-kortlaegger-fuglenes-eksplosive-evolutionshistorie/



Tak for jeres opmærksomhed!

