



Statens Naturhistoriske Museum

---



# Masseuddøen og mangfoldiggørelse

Bent E. K. Lindow

Palæontolog og geolog

Statens Naturhistoriske Museum

[lindow@snm.ku.dk](mailto:lindow@snm.ku.dk)

# Program

Uddøen og masseuddøen

Fra katastrofisme til masseuddøen

Perm/Trias

Trias/Jura

Kridt/Palæogen

**Pause(r) indlægges undervejs**



# 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

**Pause(r) indlægges undervejs**



# 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**



# Katastrofisme

## Georges Cuvier 1769-1832

← Cuvier

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



år **Hvilke(n) observation(er) kan modbevise katastrofismen?**

**Snak med sidekammeraten!**

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

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

år 0

**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

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





# 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



# Klassediskussion

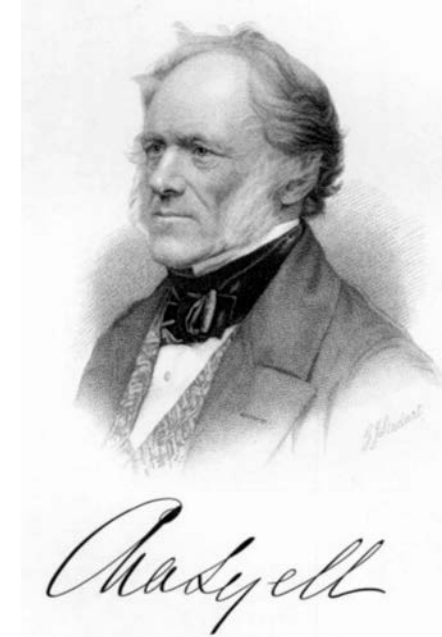
**1.Lovens uniformitet:** Naturlovene er de samme igennem tiden.

**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



# Klassediskussion

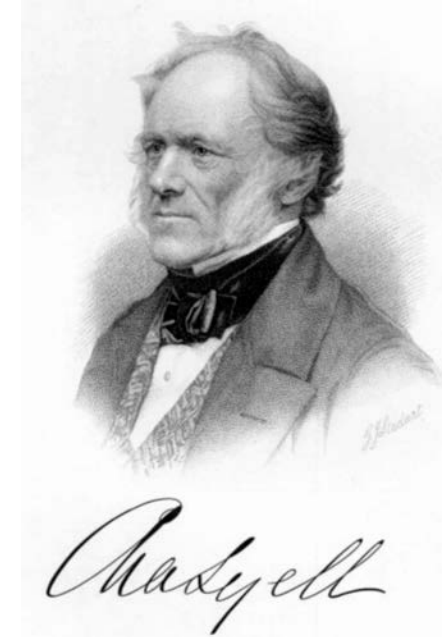
**1.Lovens uniformitet:** Naturlovene er de samme igennem tiden.

**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"?**



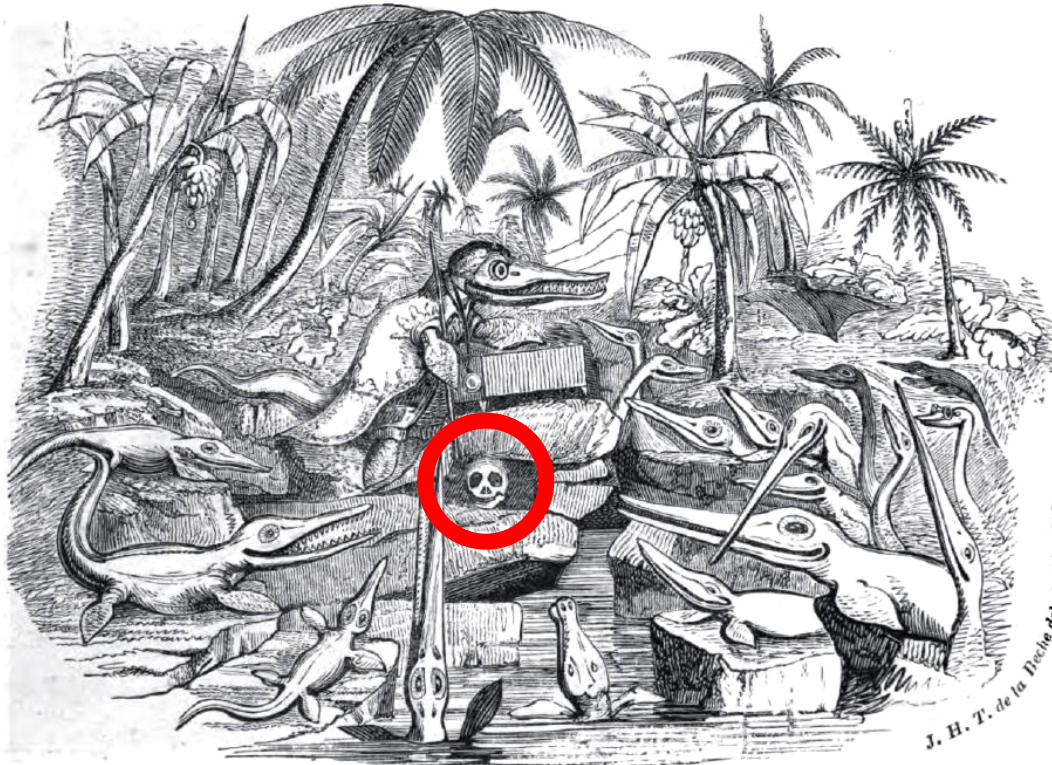
Charles Lyell  
(1797-1875)  
English sagfører  
& geolog

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



# Charles Darwin (1809-1882)



Geolog, zoolog og botaniker

Jordomsejling med *Beagle*  
(1831-1835)

*On the Origin of Species by  
Means of Natural Selection*  
(1859)

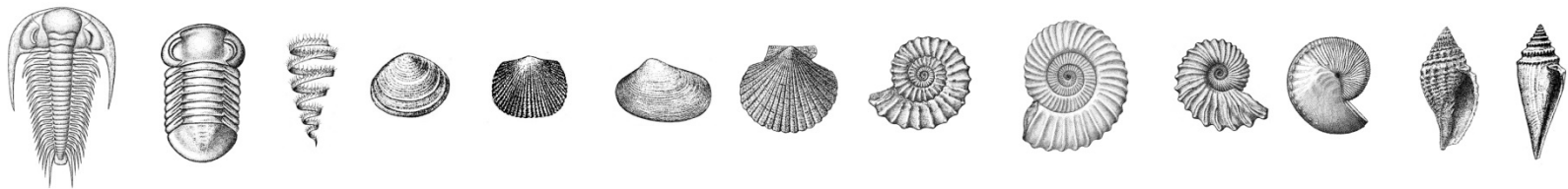
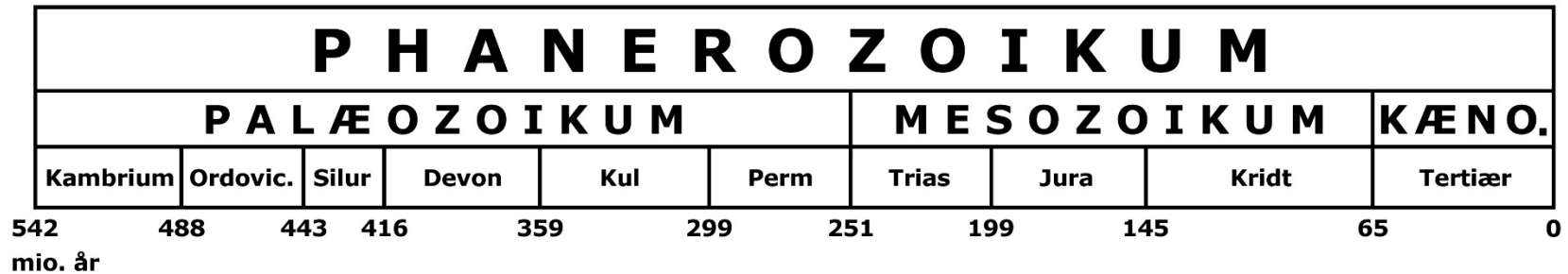
**Naturlig selektion**

*The Descent of Man, and  
Selection in Relation to Sex*  
(1871)

**Seksuel selektion**



# Den geologiske tidsskala

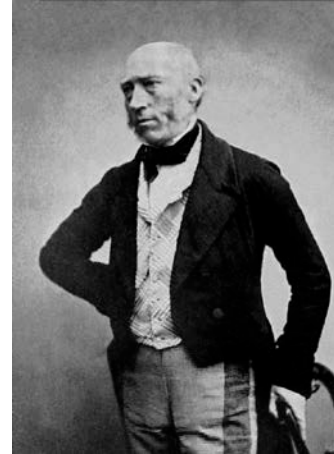
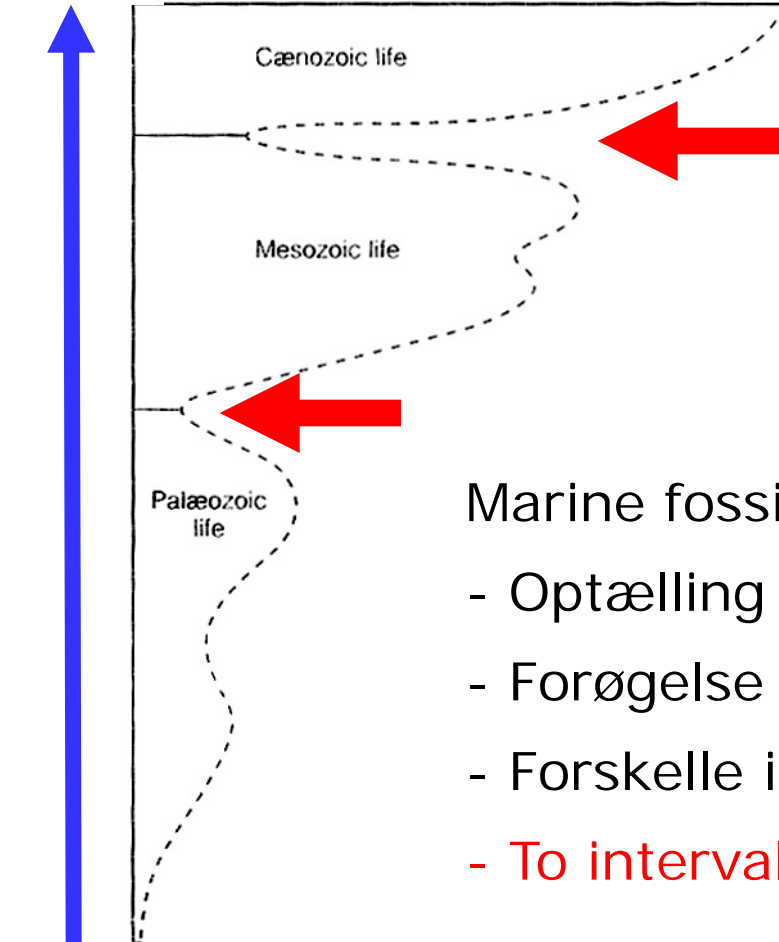


**1800-tallet:** Geologiske tidsaldre, perioder and epoker navngives og etableres ved indhold og rækkefølge af fossiler

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

# 1841: De geologiske æraer

Nutid



John Phillips  
(1800-1874)  
Engelsk geolog

Marine fossiler:

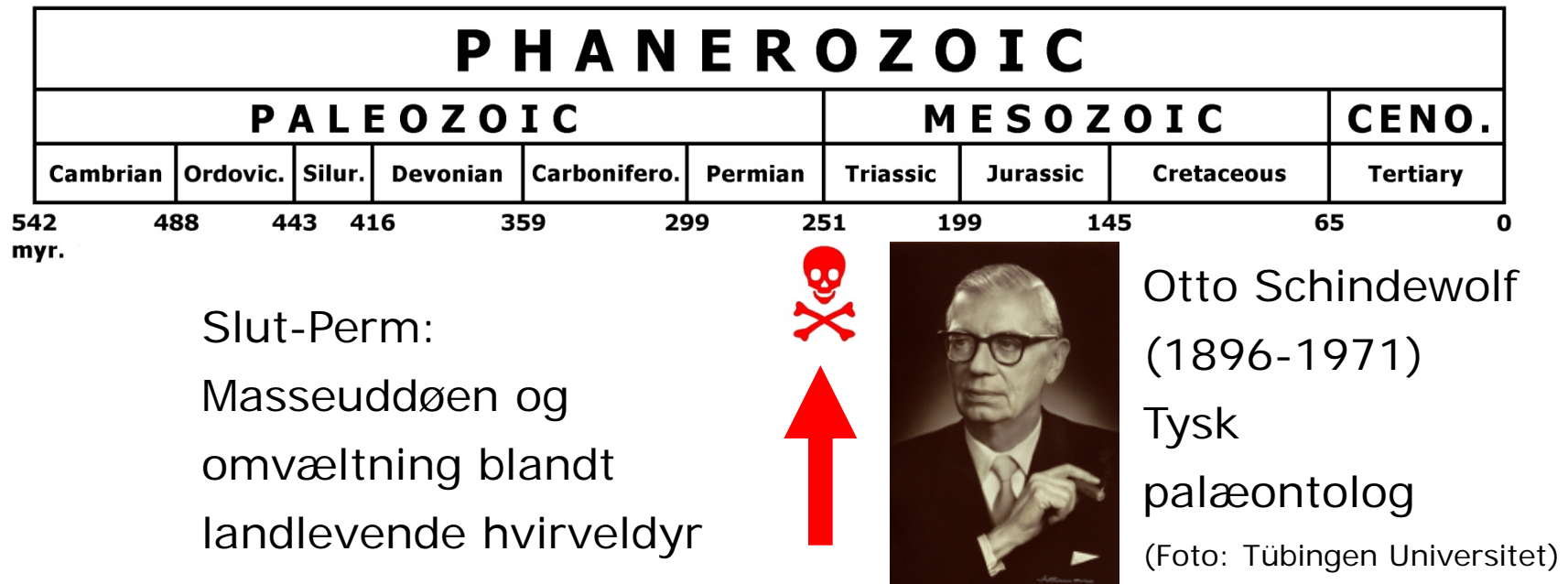
- Optælling af arter indenfor hver periode
- Forøgelse af den samlede biodiversitet over tid
- Forskelle i faunaernes sammensætning
- **To intervaller med lav biodiversitet**

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





# 1958 & 1963: Neokatastrofisme

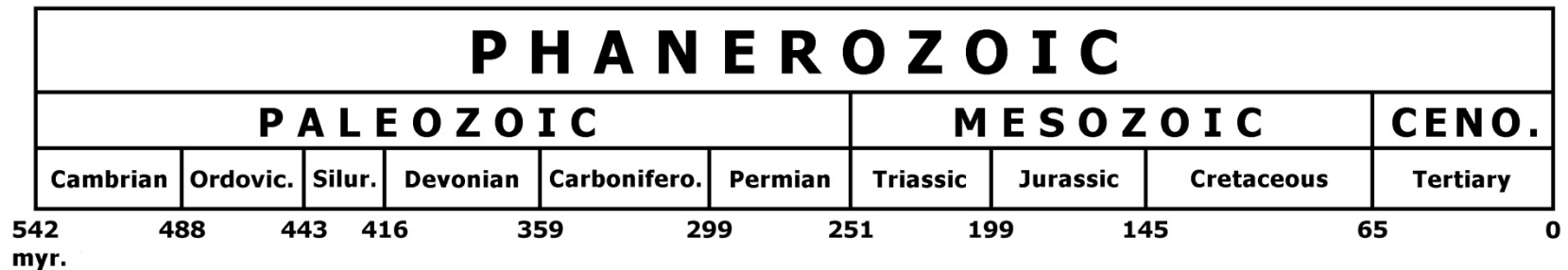


Schindewolf, O.H. (1958): Zur aussprache über die grossen erdgeschichtlichen Faunenschnitte und ihre Verursachung. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte*, pp 270-279

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



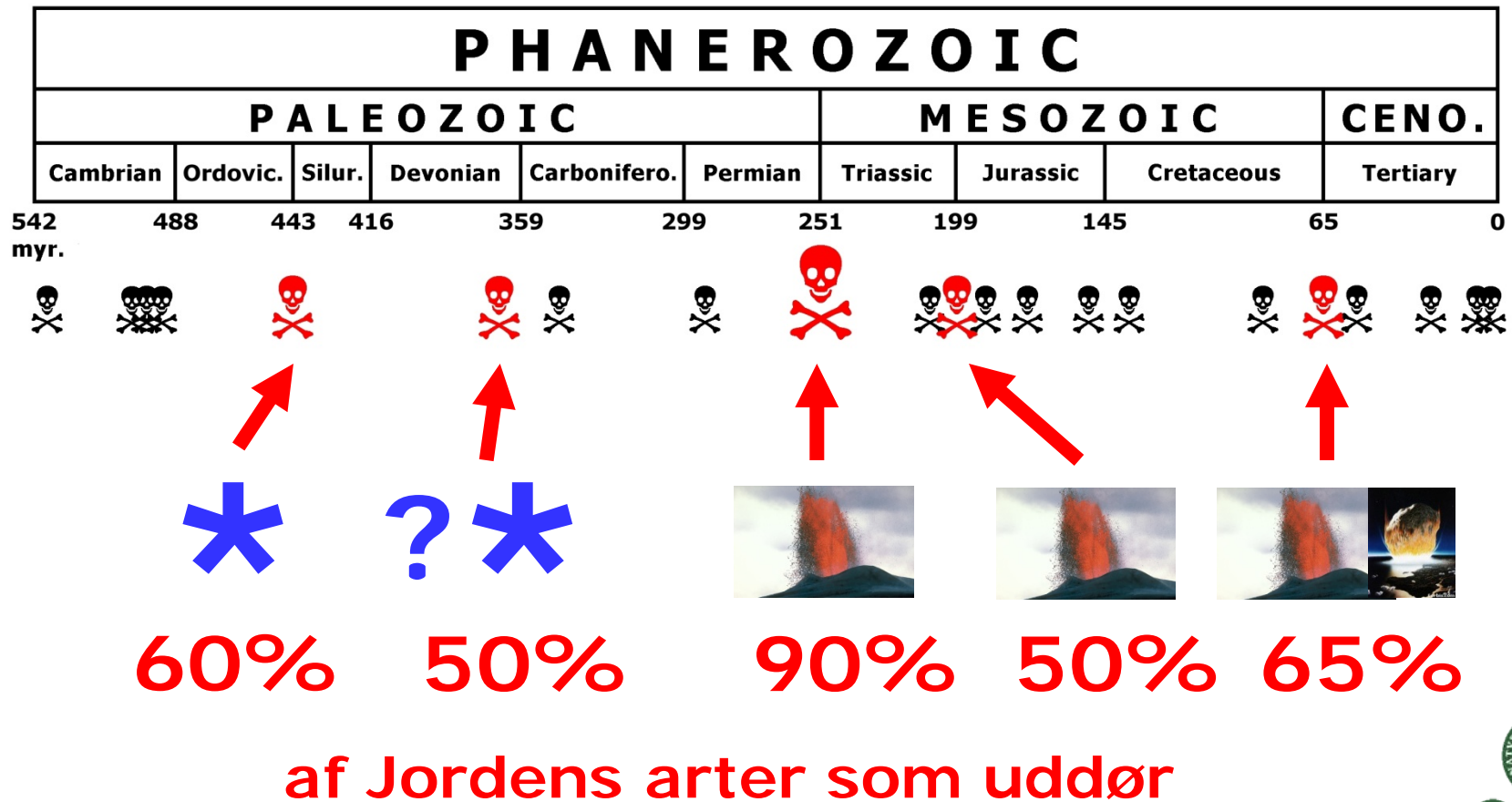
Alvarez, L.W., Alvarez, W., Asaro, F. & Michel, H.V. (1980): Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary boundary extinction. *Science* **208**, pp 1095-1108

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

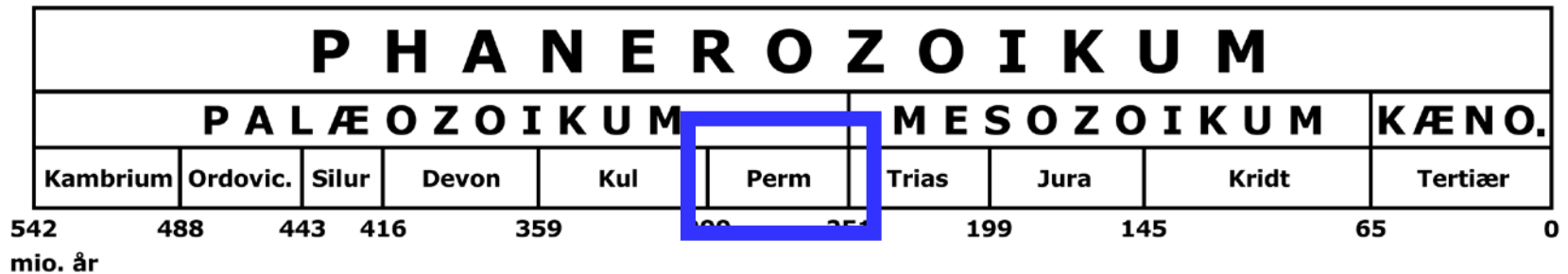
Trias/Jura

Kridt/Palæogen

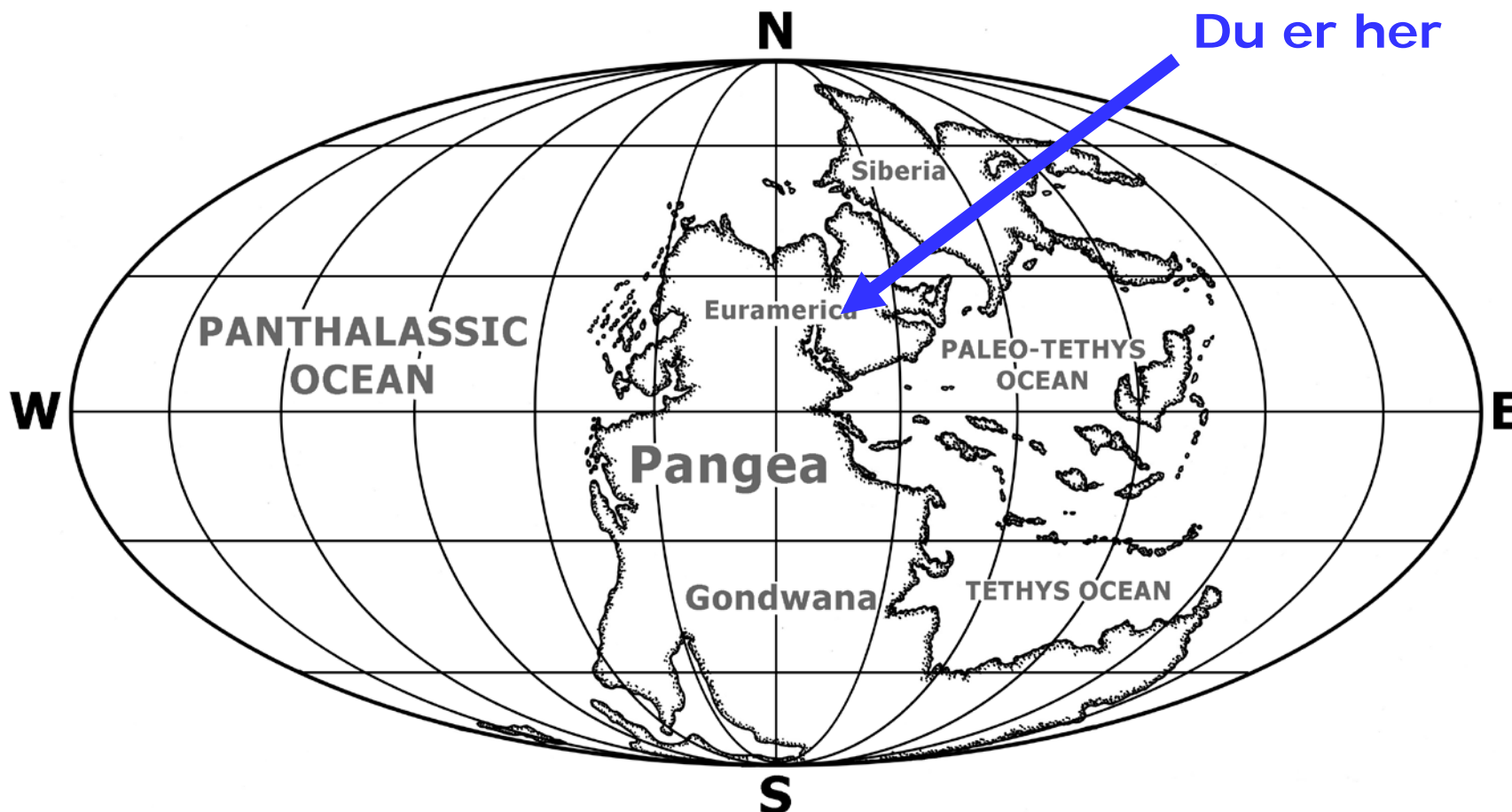
**Pause(r) indlægges undervejs**



# Perm (299-251 millioner år)



# Permtidens geografi – Pangæa





# Marin mangfoldighed – komplekse samfund

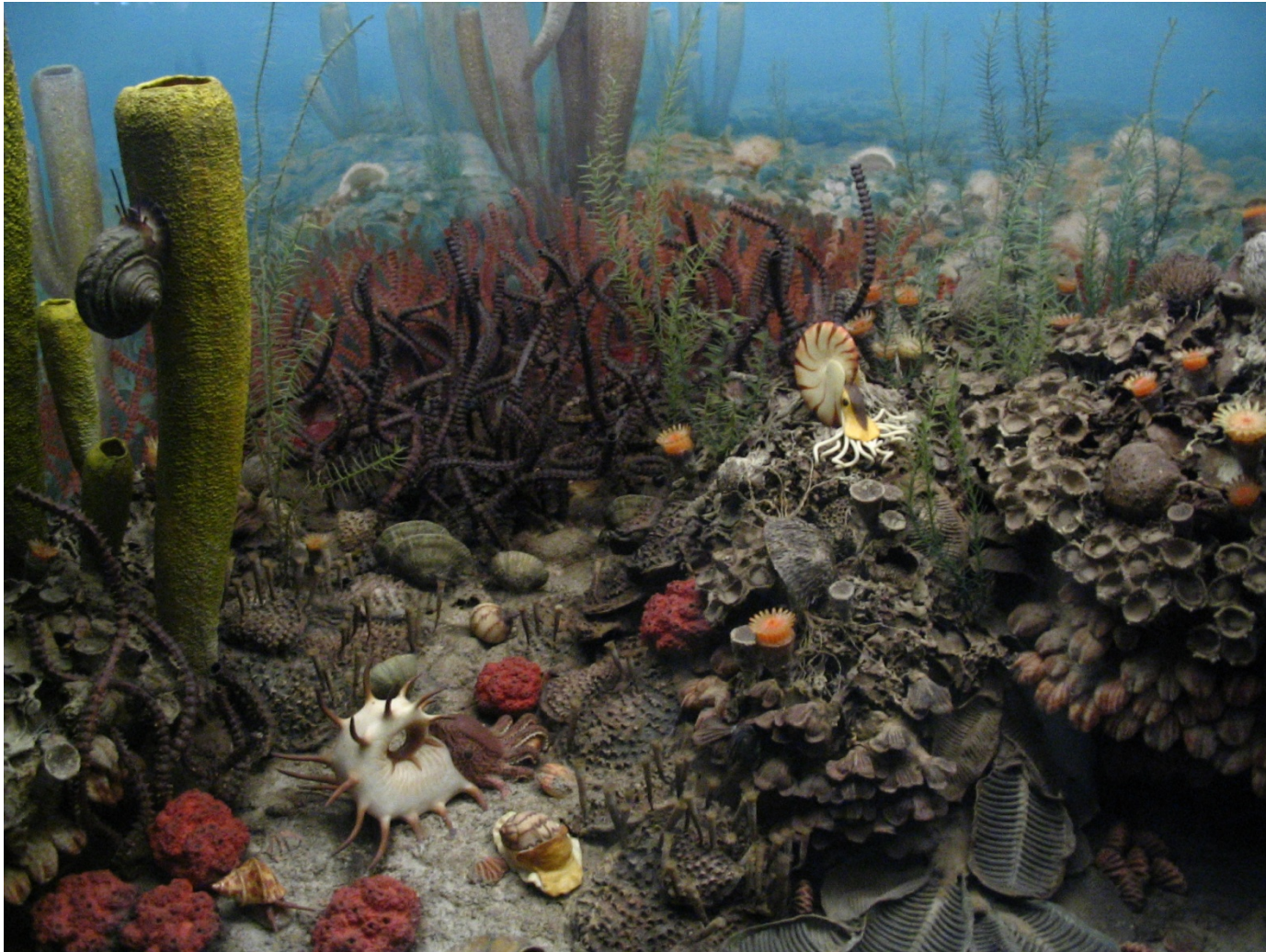
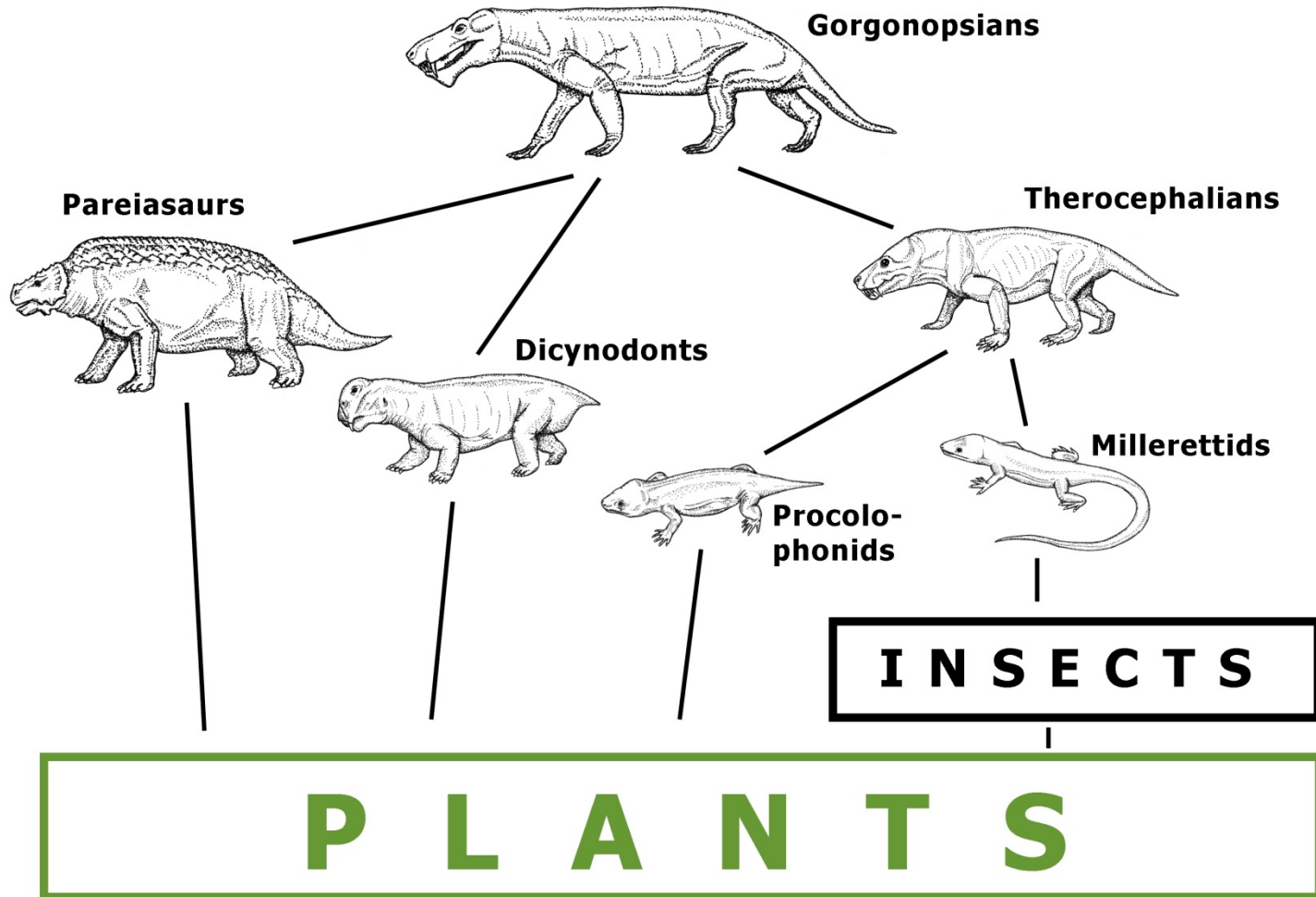


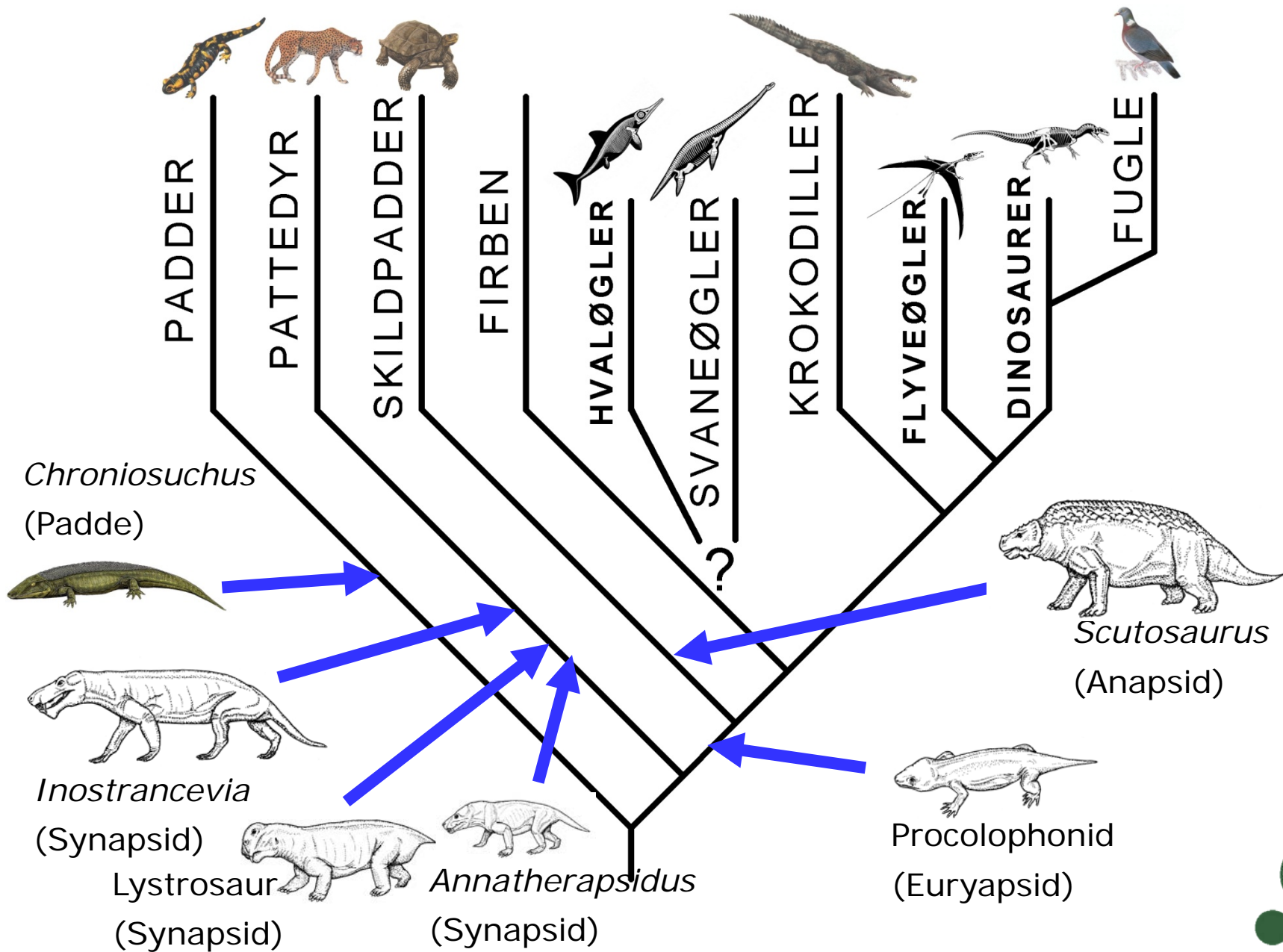
Foto: Bent Lindow



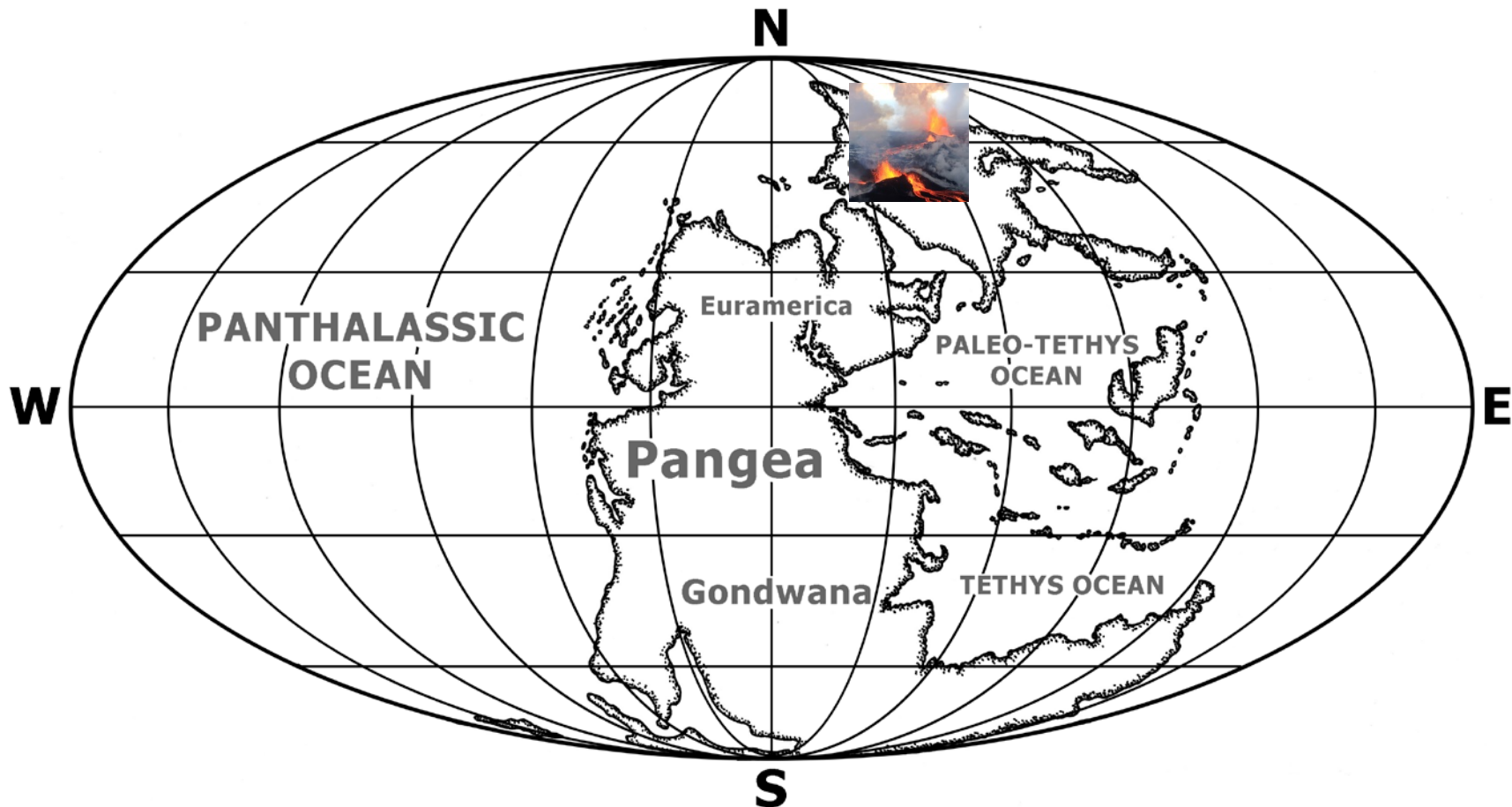
# Komplekse fødekæder på landjorden







# De Sibiriske Trapper (~251 mio. år)



# De Sibiriske Trapper



*Arealet svarer til:*  
Vest- og Mellemeuropa  
+ Britiske øer + Italien  
+ Iberiske halvø + Norden

600.000 år:

2-3 millioner km<sup>3</sup> lava

3,9 millioner km<sup>2</sup>

400-3000 meter tykke lag

Tre udbrudsfaser:

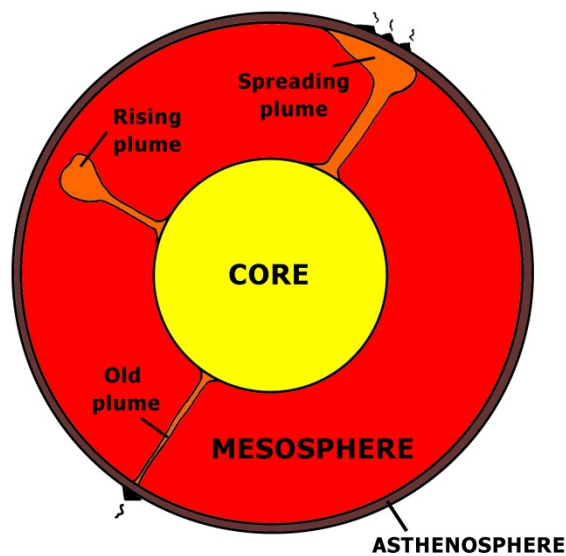
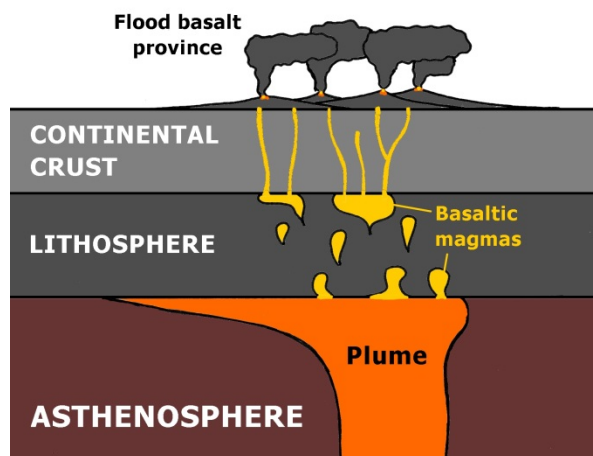
Gudchikinskaya-lavaer

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 CO<sub>2</sub> og HCl

# Siberiske Trapper: Gudchikinskaya-lava



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

Første udbrudsphase varede mindre end 200.000 år

Af-gasning af CO<sub>2</sub> og HCl  
(: pyroxenit-afledt smelte)

CO<sub>2</sub>: 170 \* 10<sup>12</sup> tons

HCl: 18 \* 10<sup>12</sup> tons

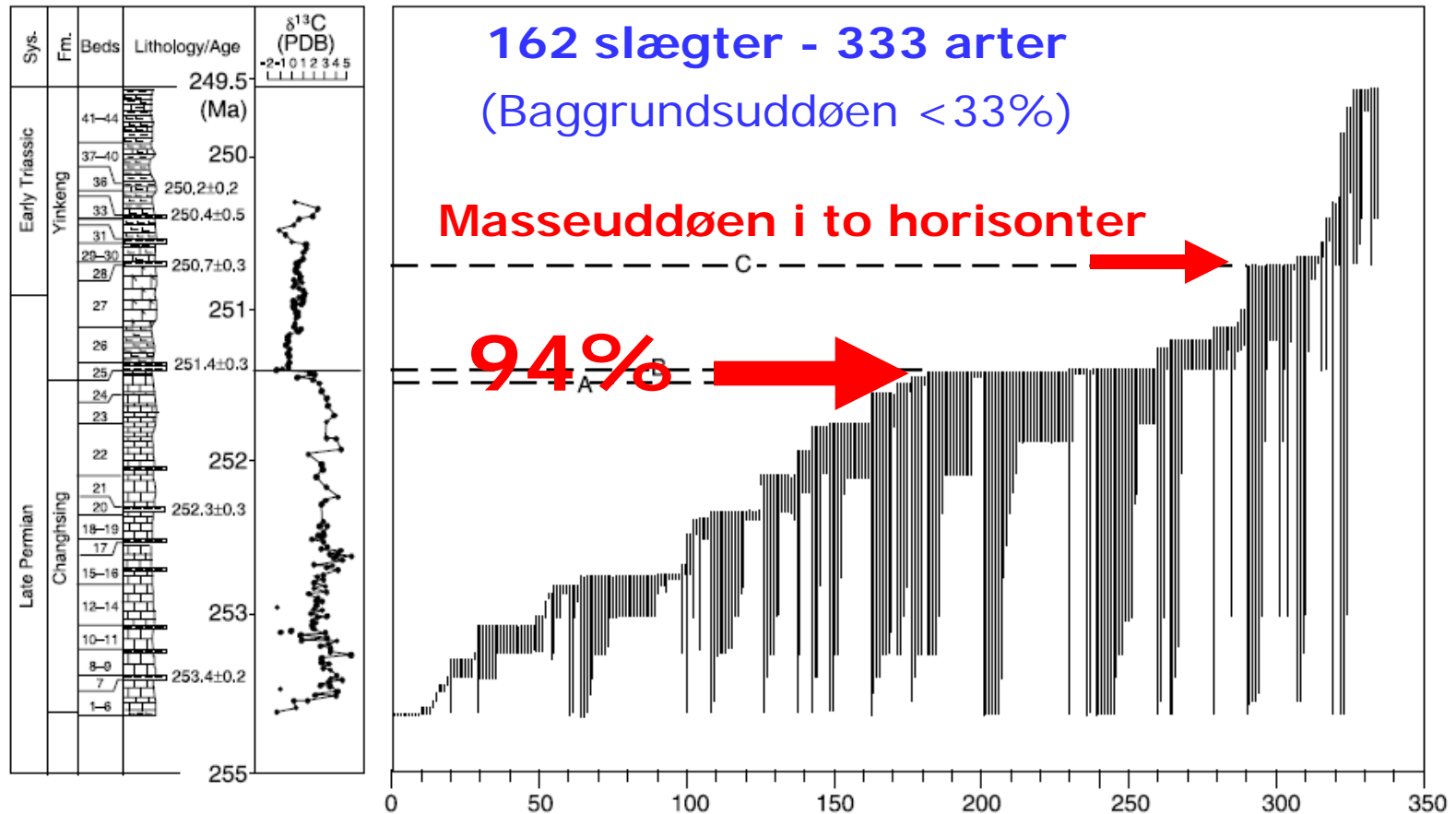
*10<sup>12</sup> = billion (DK, UK)*

*10<sup>12</sup> = million millions (UK)*

*10<sup>12</sup> = trillion (USA)*



# Meishan-sektionen, Sydkina

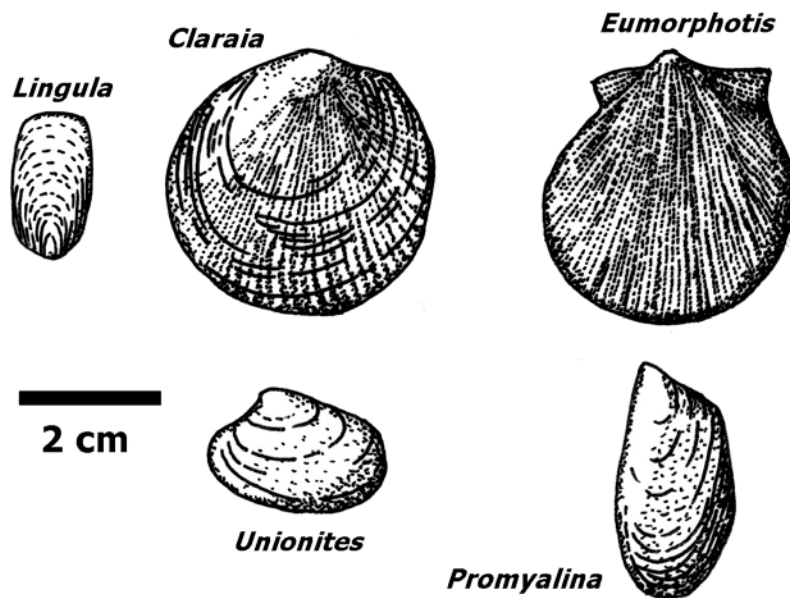


Jin, Y.G., Wang, Y., Wang, W. Shang, Q.H., Cao, C.Q. & Erwin, D.H. (2000): Pattern of Marine Mass Extinction Near the Permian-Triassic Boundary in South China. *Science* **289**, pp 432-436





# Katastrofe-slægter med global udbredelse



## Armfødder

*Lingula* sp.

## Muslinger

*Claraia* sp.

*Eumorphotis* sp.

*Unionites* sp.

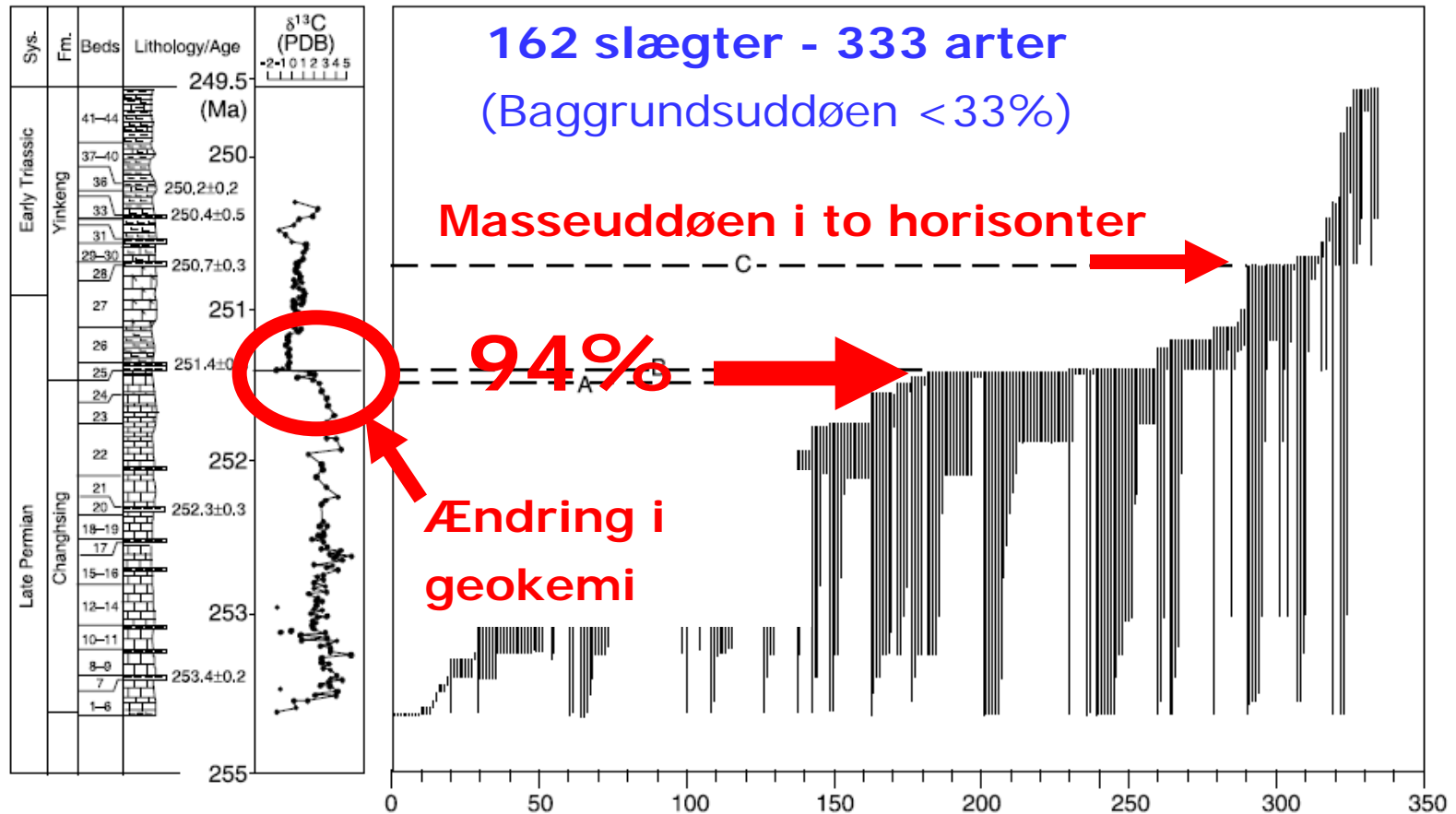
*Promyalina* sp.

(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



# 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: Kulstof-kilder

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

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

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

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

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

Udryddelse af al biomasse: Representerer kun 20%

$\text{CO}_2$  fra Gudchikinskaya lava redegør for hele udsvinget

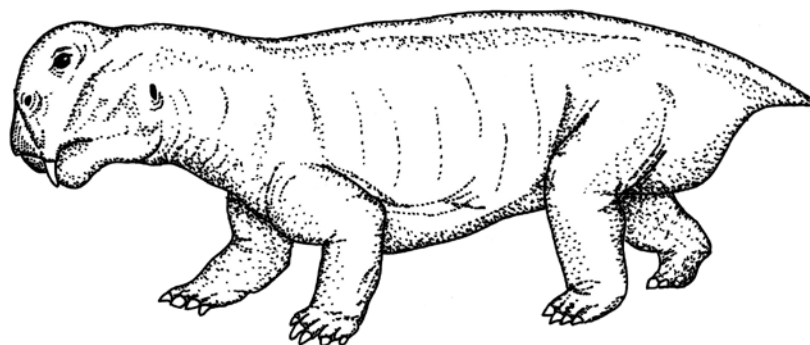
Benton, M.J. & Twitchett, R.J. (2003): How to kill (almost) all life: the end-Permian extinction event. *TRENDS in Ecology and Evolution* **18** (7), pp 358-365

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





# DEN globale katastrofeslægt



## ***Lystrosaurus***

(Synapsid)

1 meter lang

90 kilo tung

Planteæder

Op til 95% af mangfoldighed

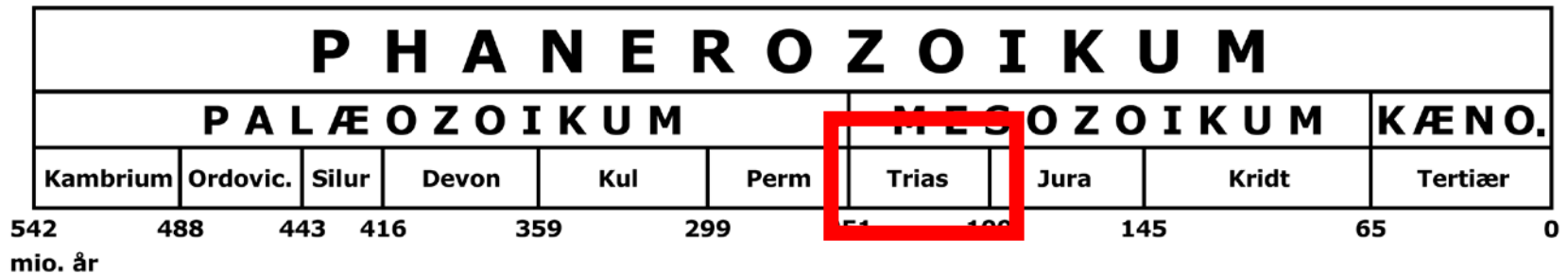
Ingen rovdyr?

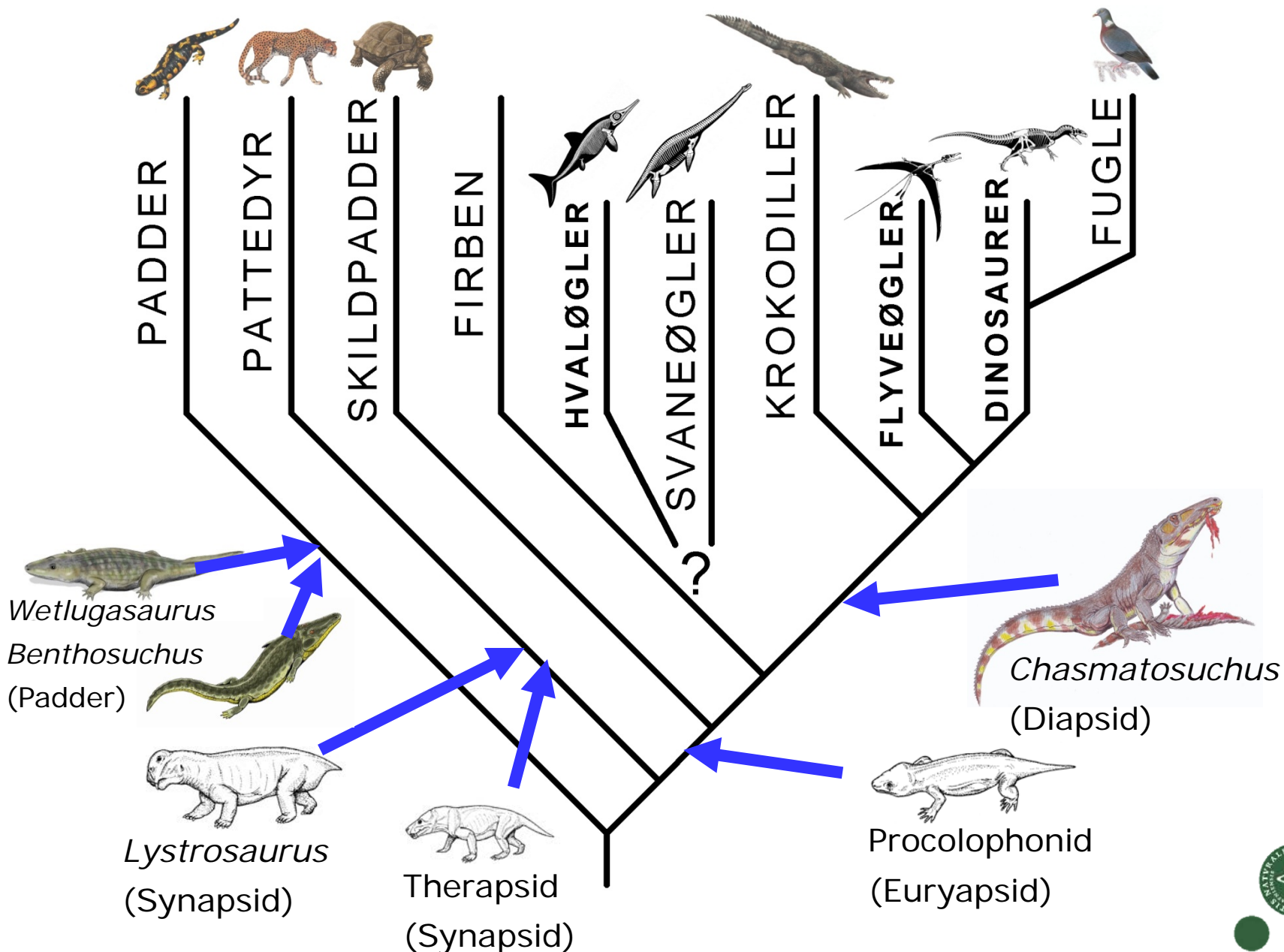
Held?

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



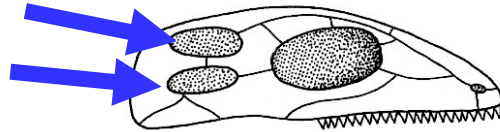
# Trias (251-201 millioner år)





# Trias-archosaurer

Diapsid kranie

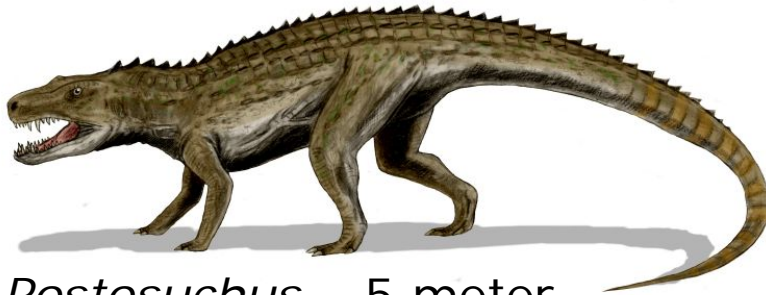


Pterosaurer



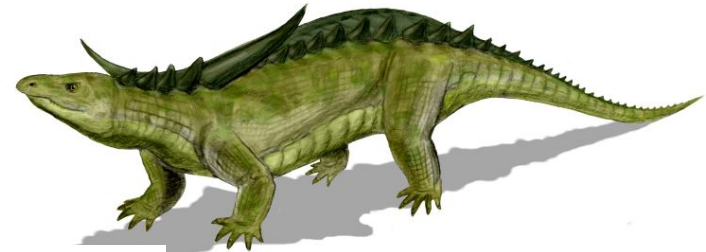
*Preondactylus*  
– 45 cm vingefang

Rauisuchier



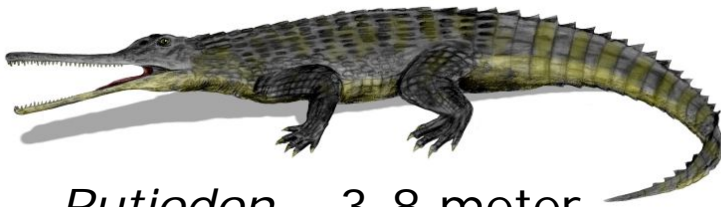
*Postosuchus* – 5 meter

Aetosaurer



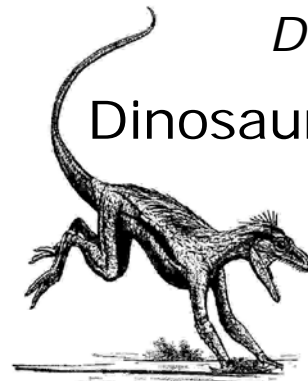
*Desmotosuchus* – 5 meter

Phytosaurer



*Rutiodon* – 3-8 meter

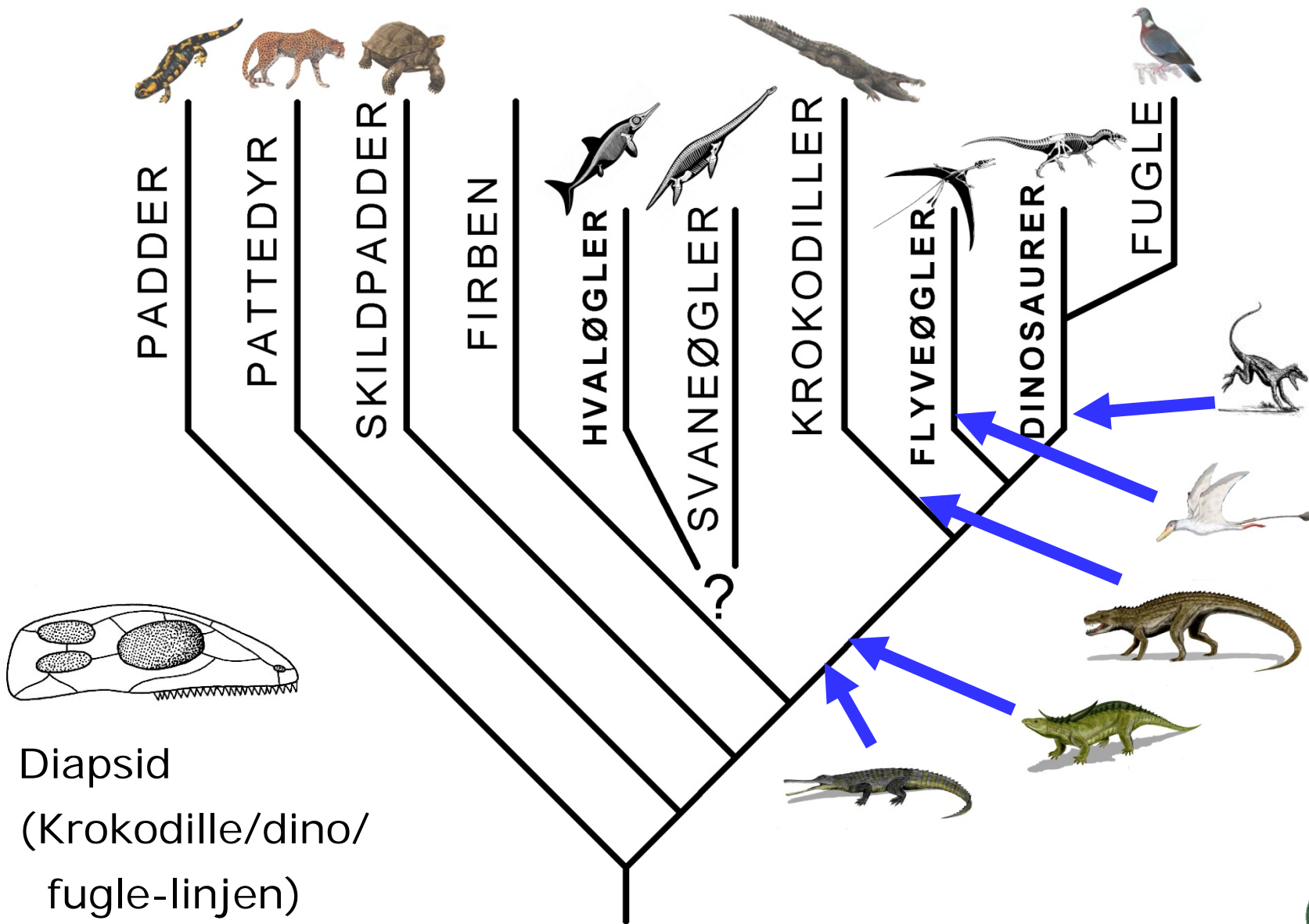
Dinosauromorfer



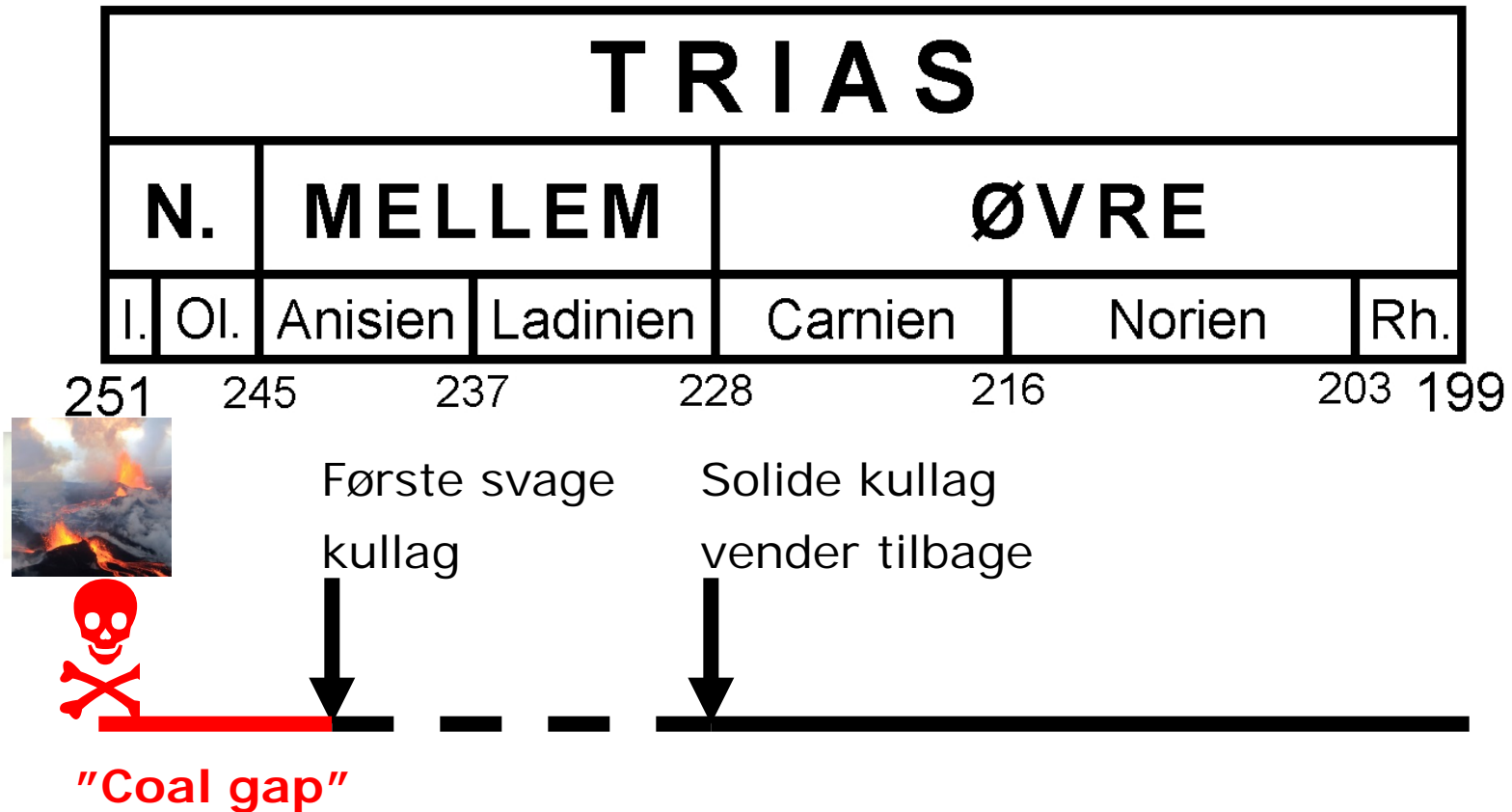
*Marasuchus* – ½ meter

Rekonstruktioner: Nobu Tamura, Wikimedia





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



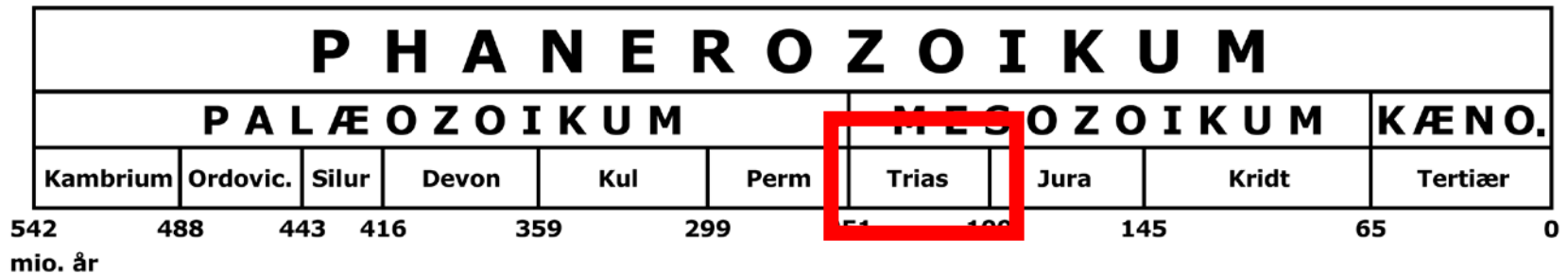
Retallack, G.J. (1999): Postapocalyptic greenhouse paleoclimate revealed by earliest Triassic paleosols in the Sydney Basin, Australia. *Geological Society America Bulletin* **111**, pp 52-70

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 (251-201 millioner år)

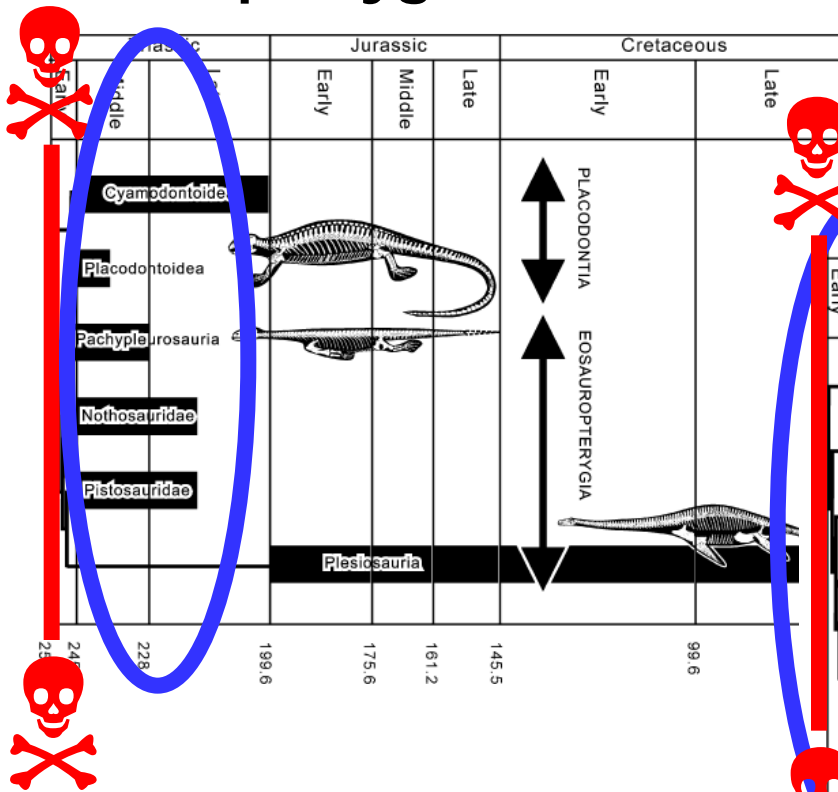




# Tidligste Trias: Landdyr tilbage til havet

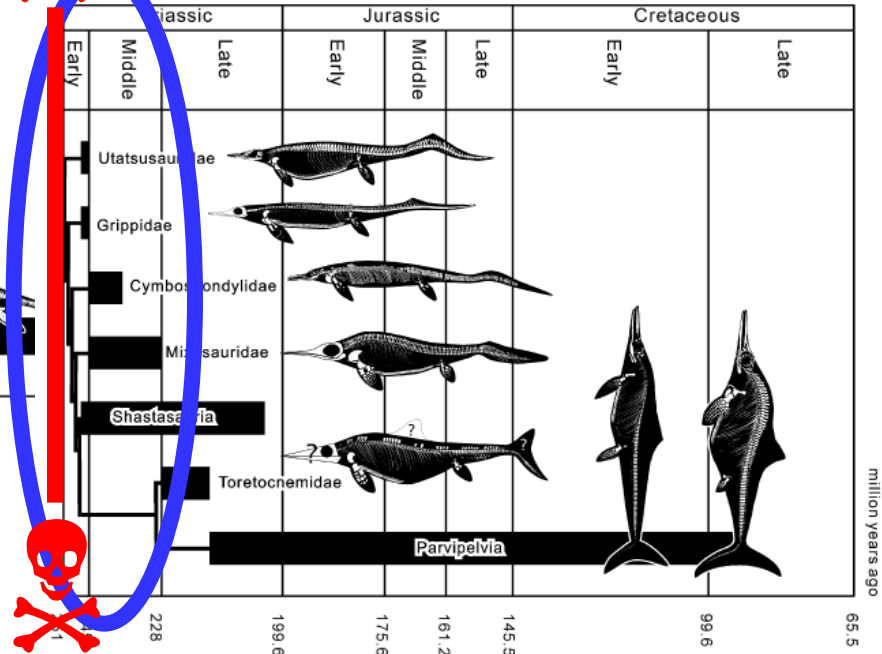
Fortid → Nutid

## Sauropterygia



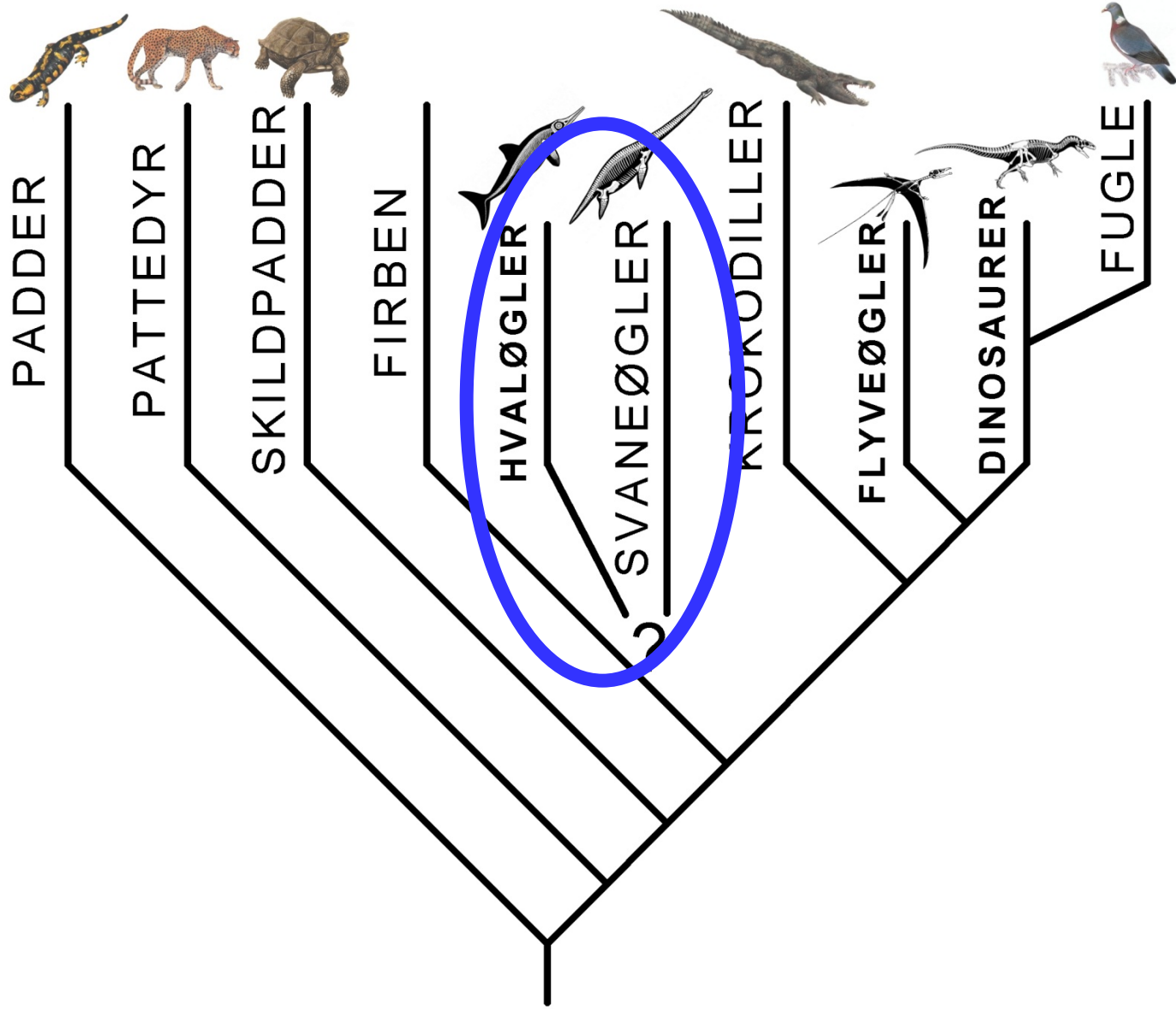
Ingen firbenede landdyr vendte tilbage til havet før Tidlig Trias!

## Ichthyopterygia (Hvaløgler)

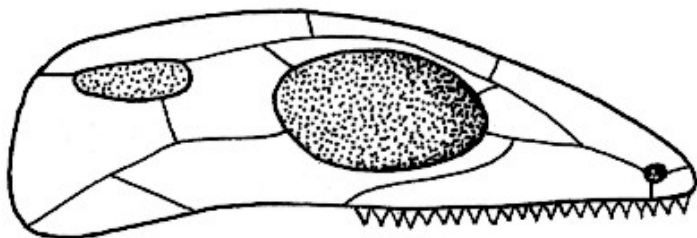


Motani (2009): The Evolution of Marine Reptiles. *Evolution: Education and Outreach* 2, pp 224-235





# Trias (251-201 mio. år)



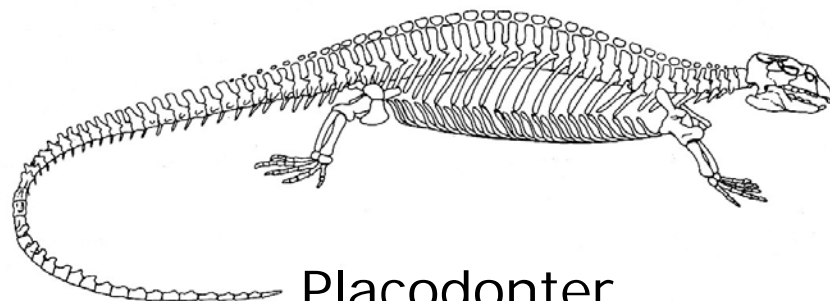
EURYAPSIDER



Hvaløgler (Ichthyopterygia)

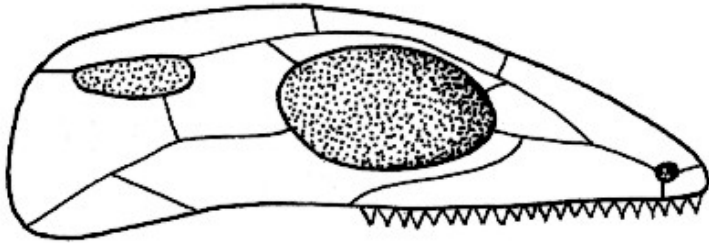


Nothosaurer



Placodonter

# Hvaløgler (245 - 90 mio. år)



## **Ichthyopterygia**

Euryapsid kranie

Kødædere

Fire luffer

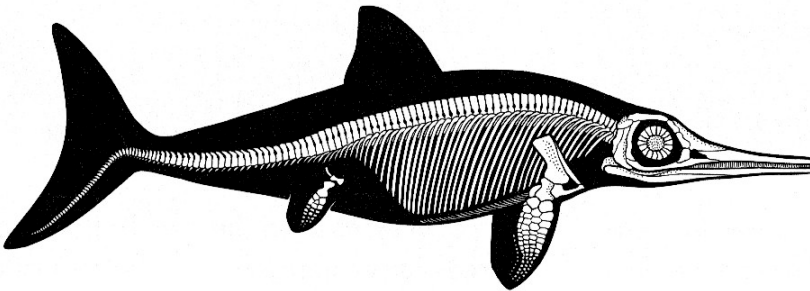
Rygfinne

Lodret halefinne

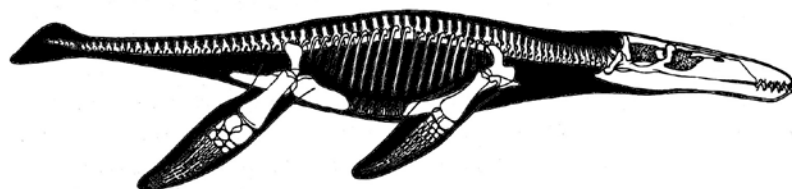
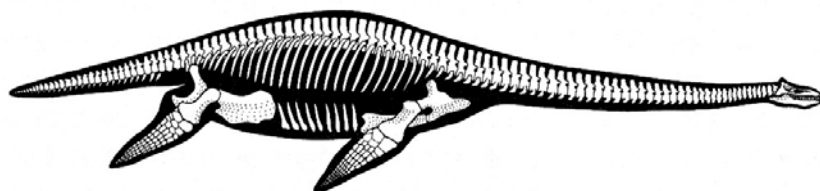
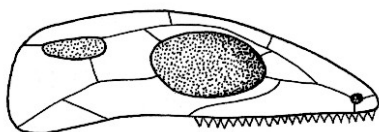
Fødte fuldbårne unger

Normalt 2-5 meter lange

*Shonisaurus*: 20 meter



# Svaneøgler (199 - 66 mio. år)



## **Plesiosauria**

Euryapsid kranie

Kødædere

Fire luffer

Fødte fuldbårne unger



# Program

Uddøen og masseuddøen

Fra katastrofisme til masseuddøen

Perm/Trias

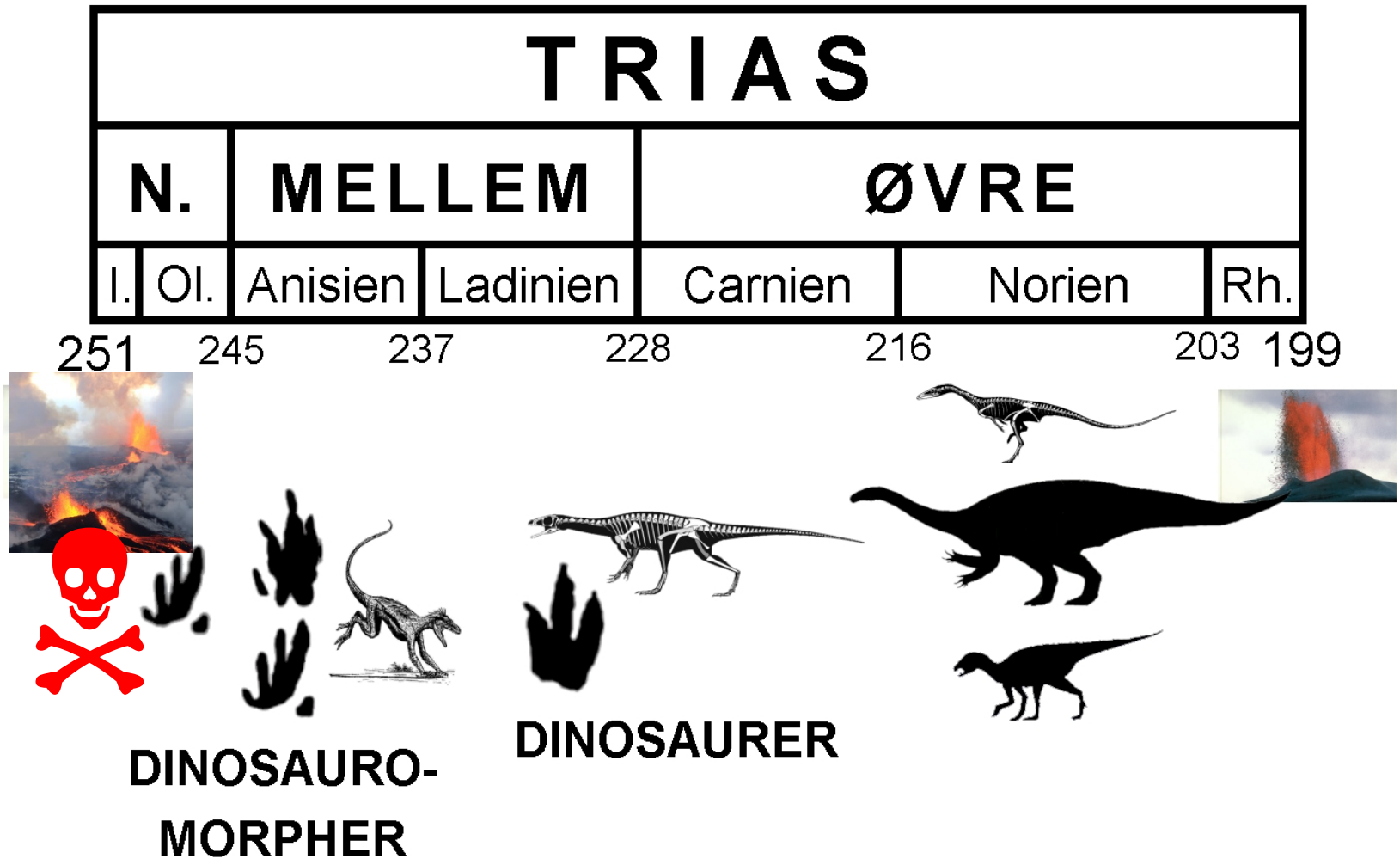
Trias/Jura

Kridt/Palæogen

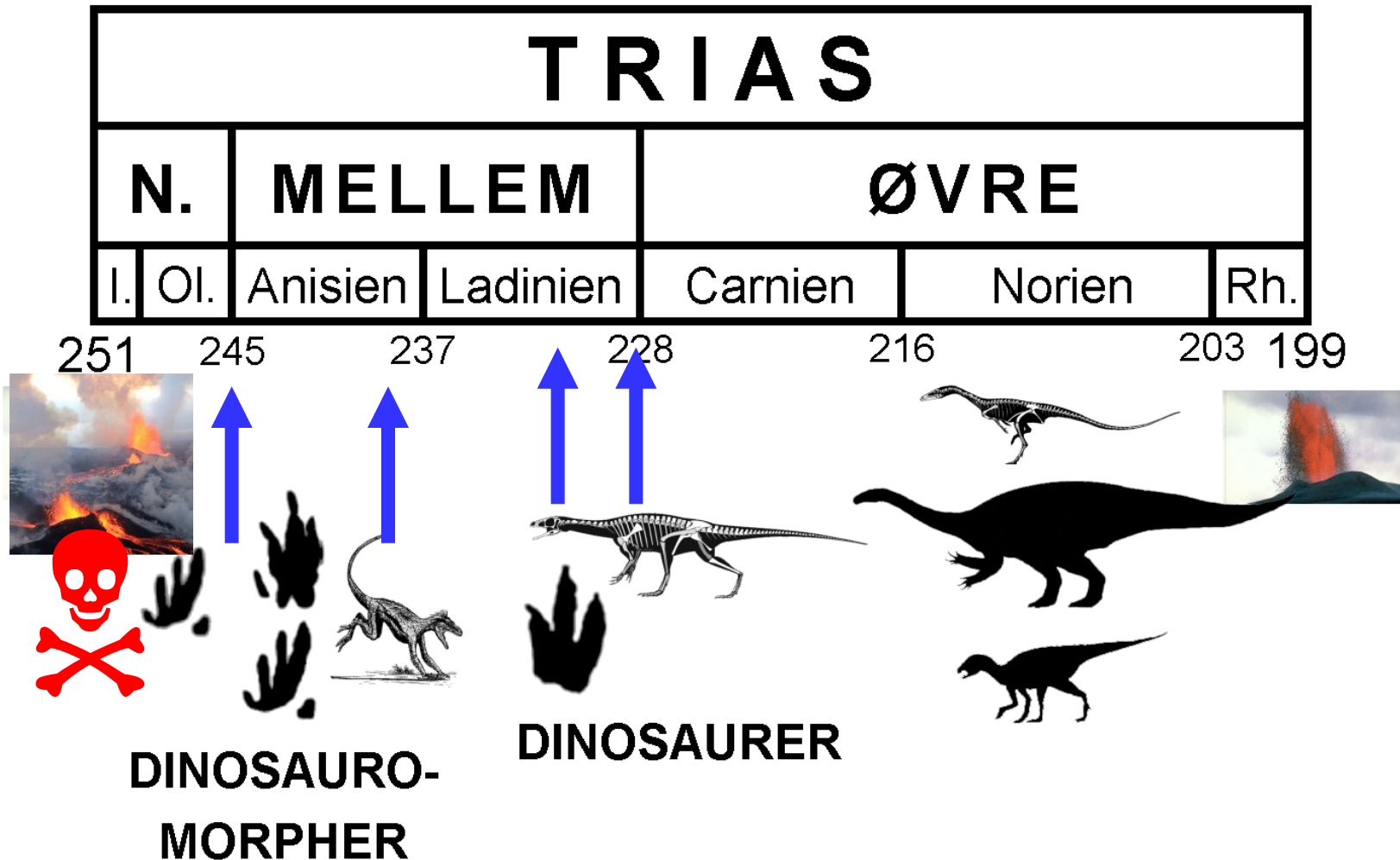
**Pause(r) indlægges undervejs**



# Dinosaurerne i Trias (251 – 201 mio. år)



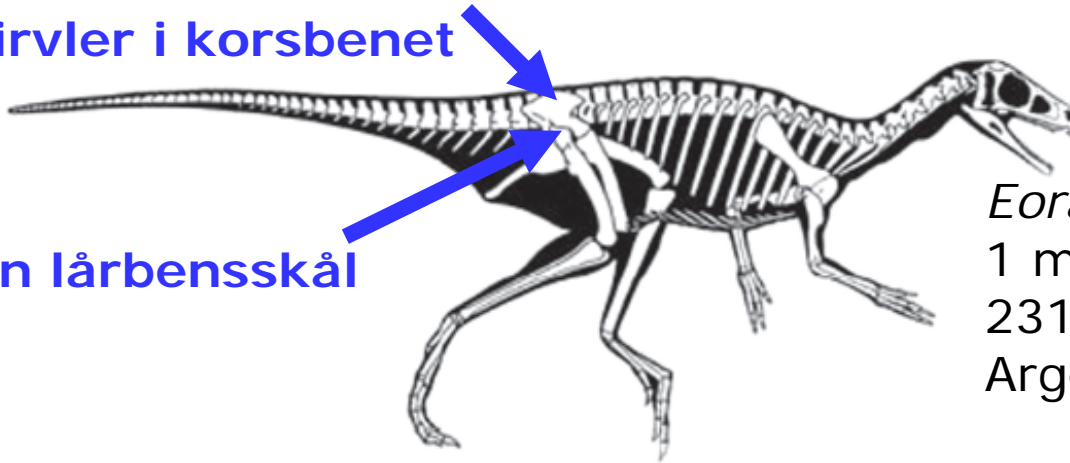
# Dinosaurerne i Trias (251 – 201 mio. år)



# Dinosaurernes kendetegn

Tre (3) sammenvoksede  
hvirvler i korsbenet

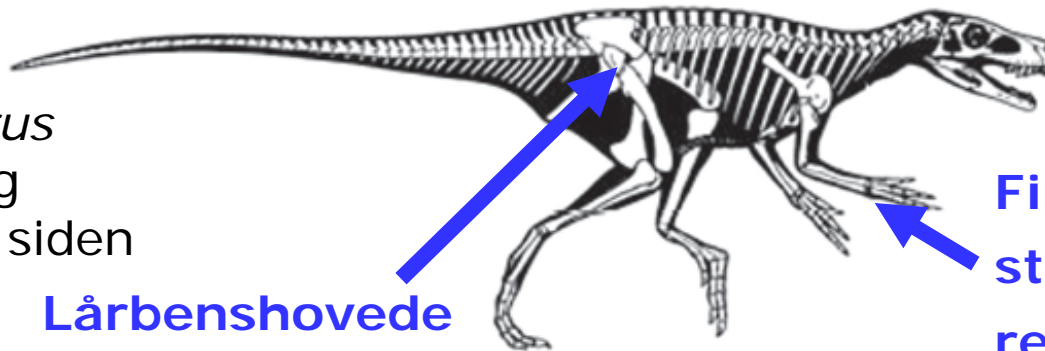
Åben lårbensskål



*Eoraptor*  
1 meter lang  
231 mio. år siden  
Argentina

*Herrerasaurus*  
3 meter lang  
231 mio. år siden  
Argentina

Lårbenshovede  
vender indad

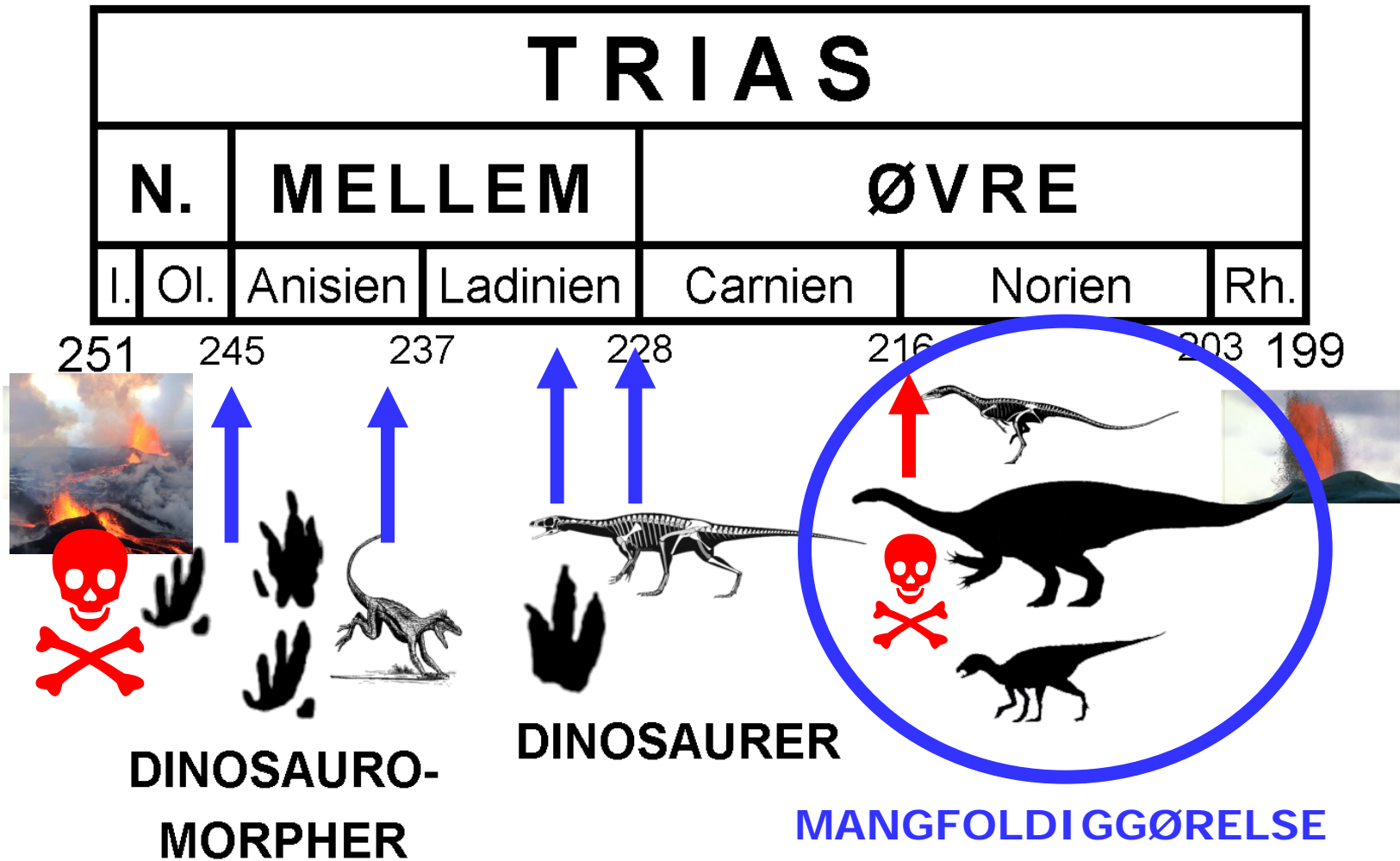


Finger IV og V  
stærkt  
reducerede

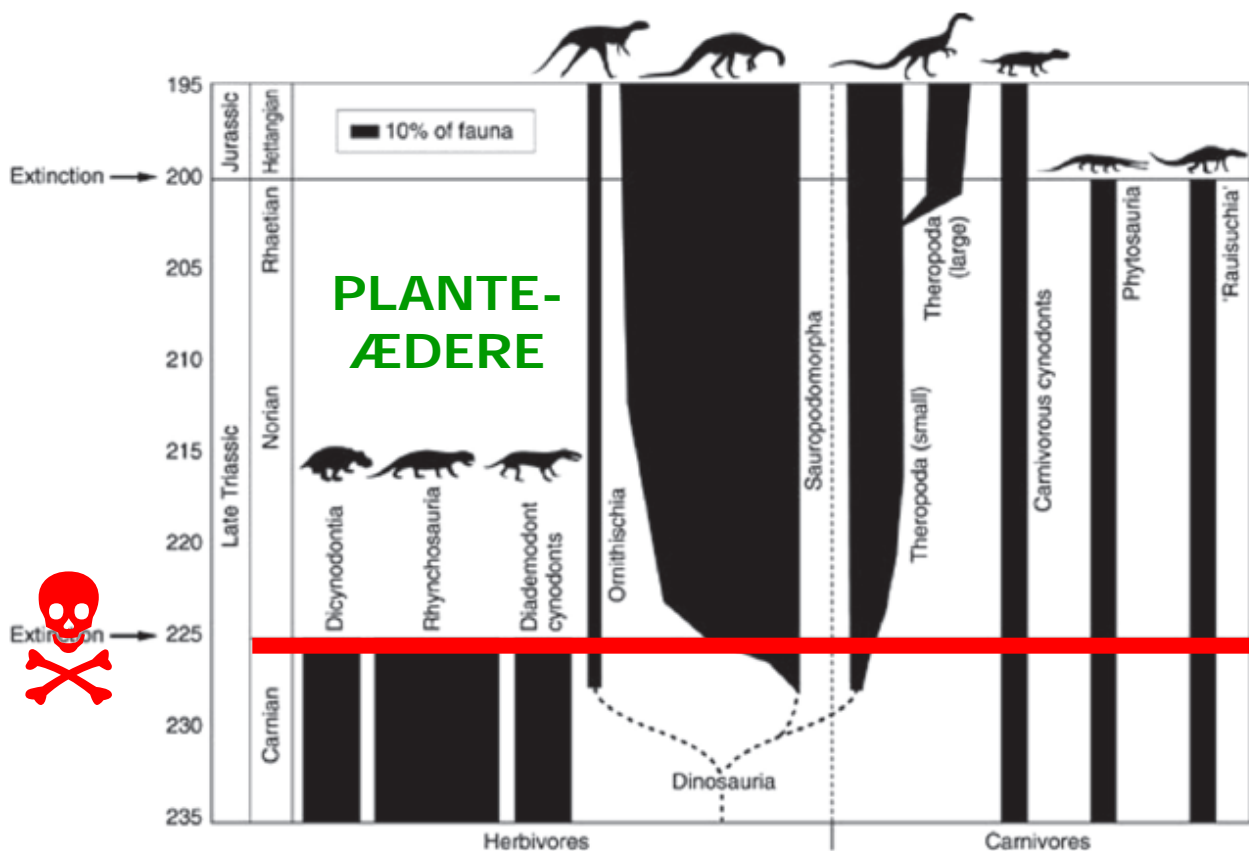
Benton (2006): The Origin of the Dinosaurs, pp 11-19 In: *III Jornadas Internacionales sobre Paleontología de Dinosaurios y su Entorno*. Salas de los Infantes, Burgos



# 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)

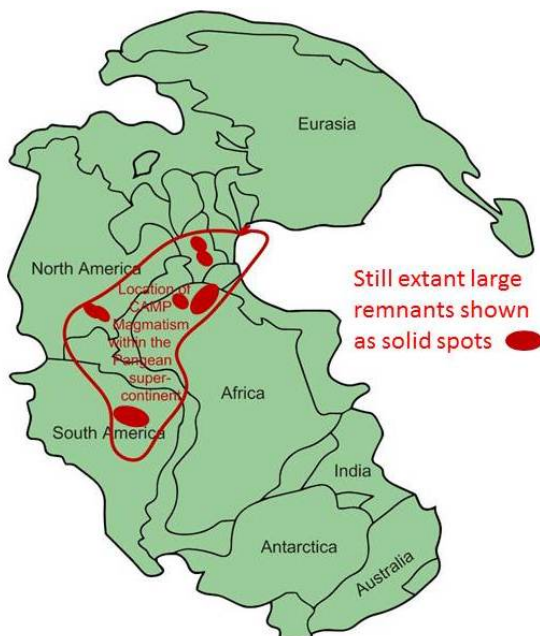


201 millioner år siden

600.000 år:

11 millioner km<sup>2</sup>

2-3 millioner km<sup>3</sup> lava



# 50 %

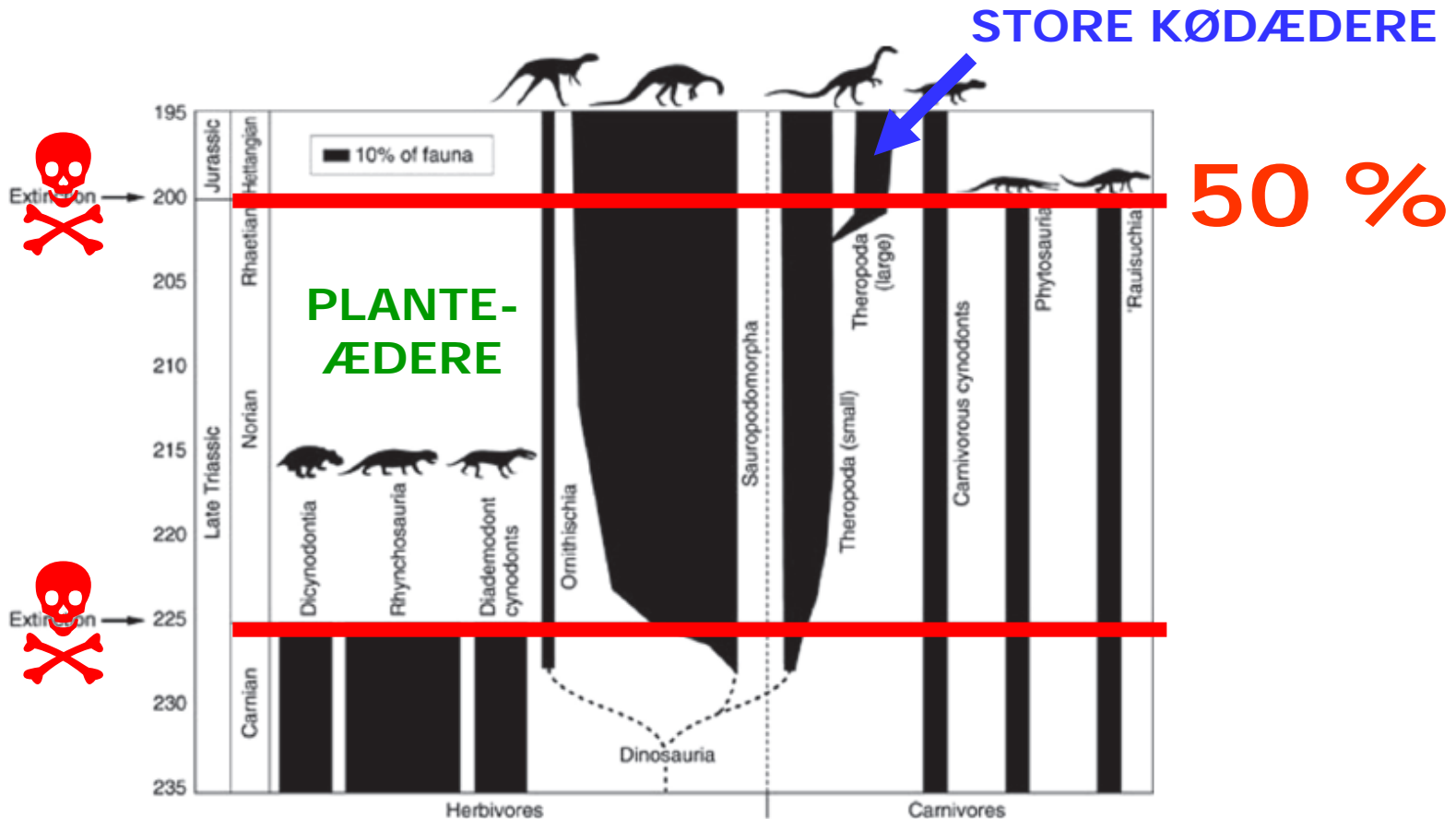
af Jordens arter uddør

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

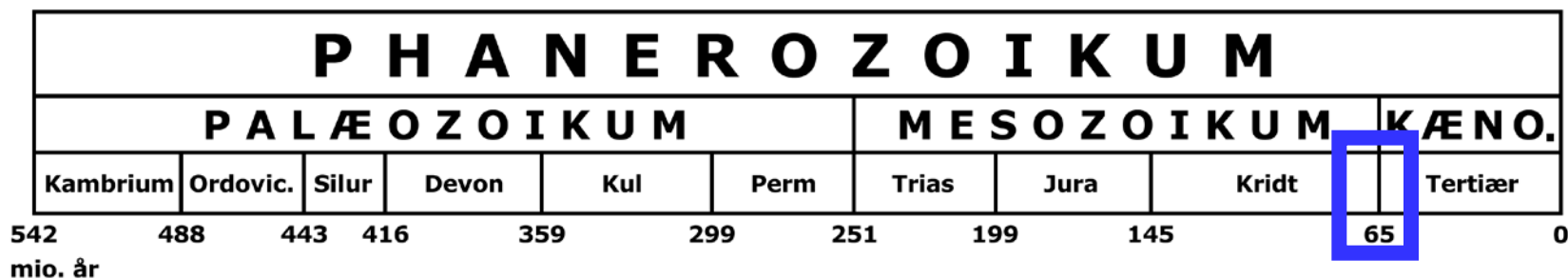
Trias/Jura

Kridt/Palæogen

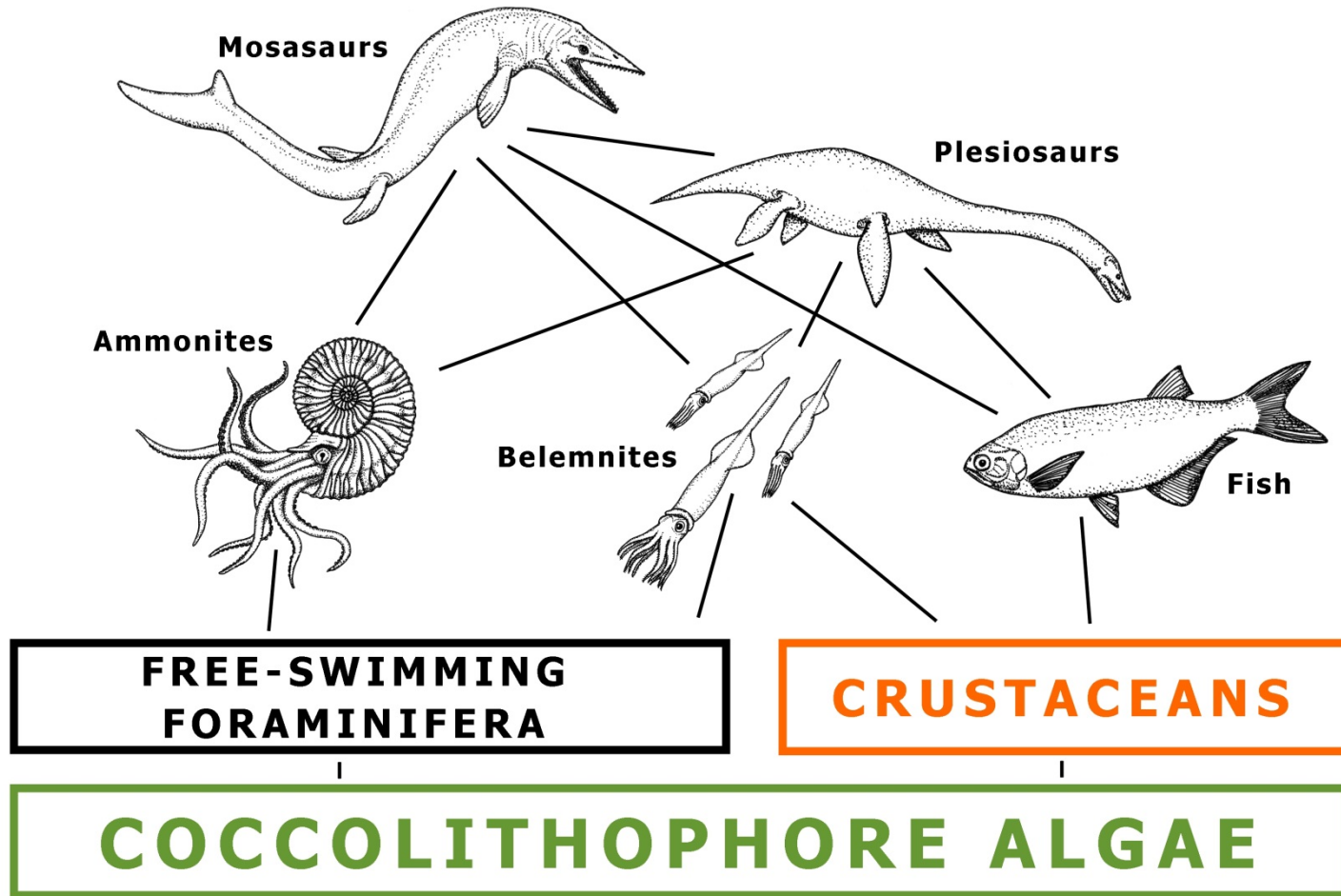
**Pause(r) indlægges undervejs**



# Kridt og Palæogen (66 millioner år)



# Fødekæde i havet



# Ekstra-terrestrisk nedslag



Komet eller asteroide

10–15 km i diameter

20 – 70 km/s

100 millioner megatons ( $10^6$ ) TNT

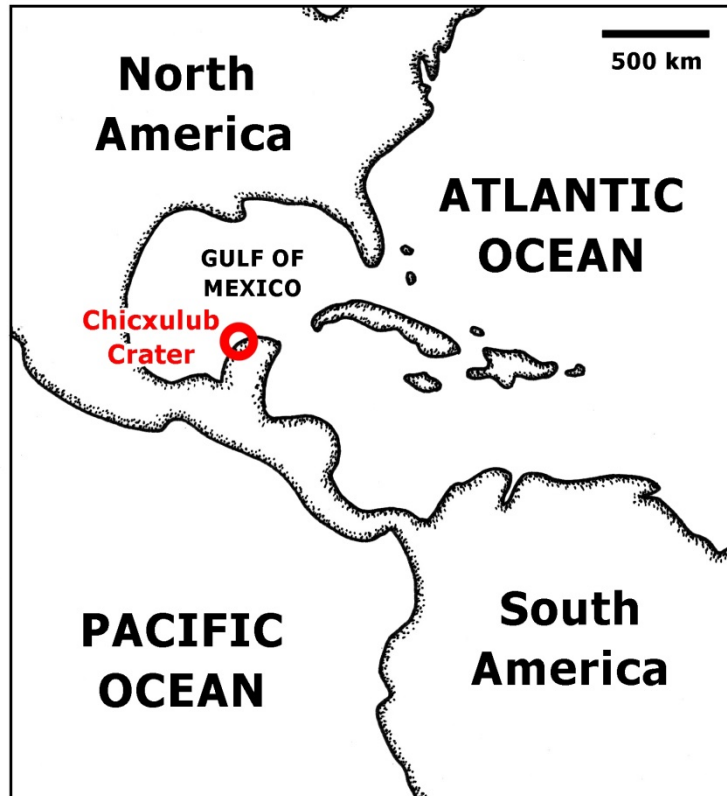
=> **Støv og aske skygger for Solen**

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

65,5 mio. år gammelt

Verdensomspændende  
Iridium-anomali

Chokkvarts & nedslagsbreccie

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



# Deccan-vulkanfelterne i Indien



68-60 millioner år siden

Hovedudbrud: 30.000 år

Enkelte lag:

- Op til 150 meter tykke
- 160 km udstrækning
- 3000 km<sup>3</sup> lava

**Producerede SO<sub>2</sub> [og Ir]**

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





# Fødekæder – 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 til vands og til lands



## **SO<sub>2</sub>-gasser:**

Global nedkøling og syrerregn

Forsuring af øvre vandsøjle

☠ Kalkskallede organismer

☠ "Barnekammeret"

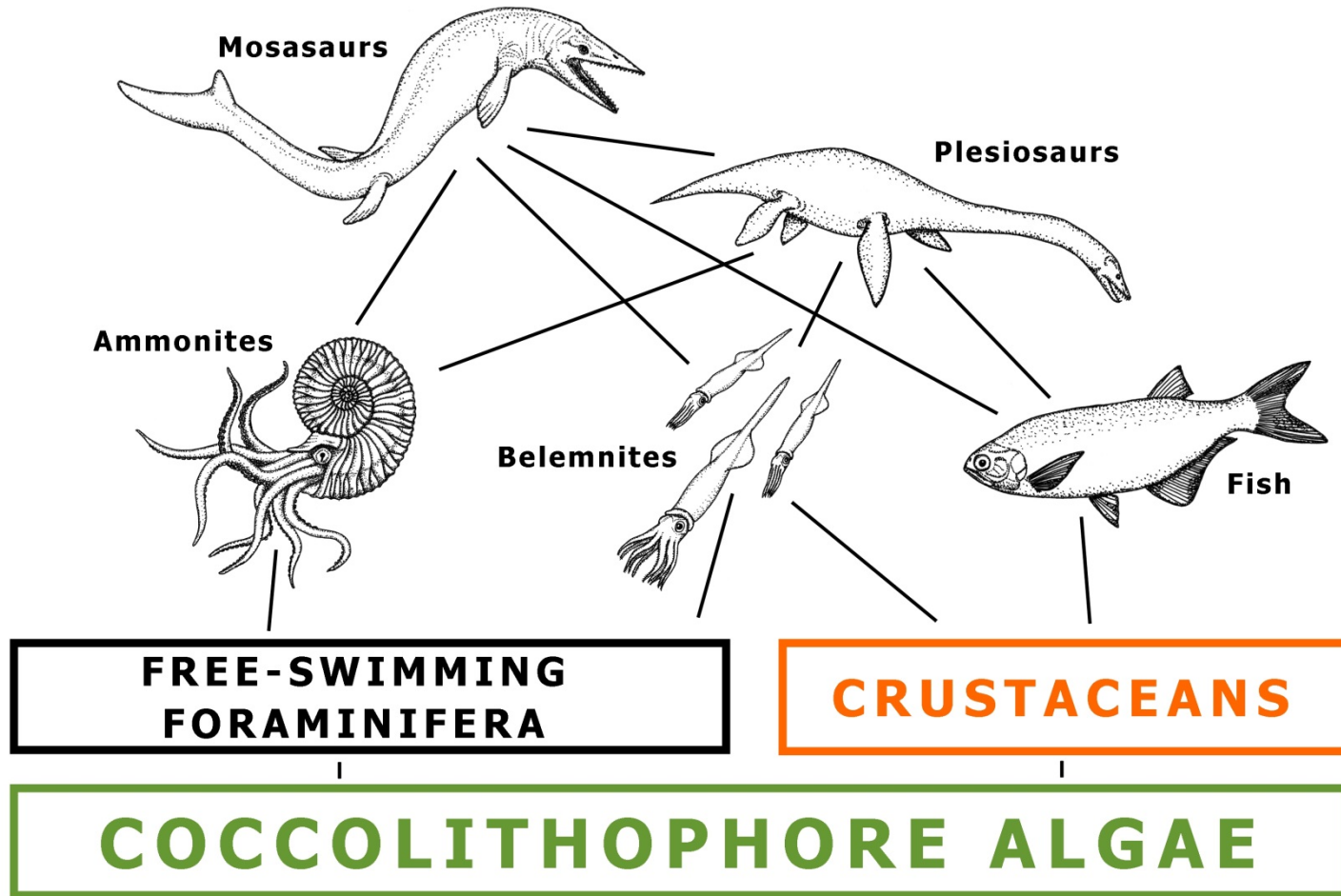
= > Økosystemer under stress

## **Støv og aske i atmosfæren**

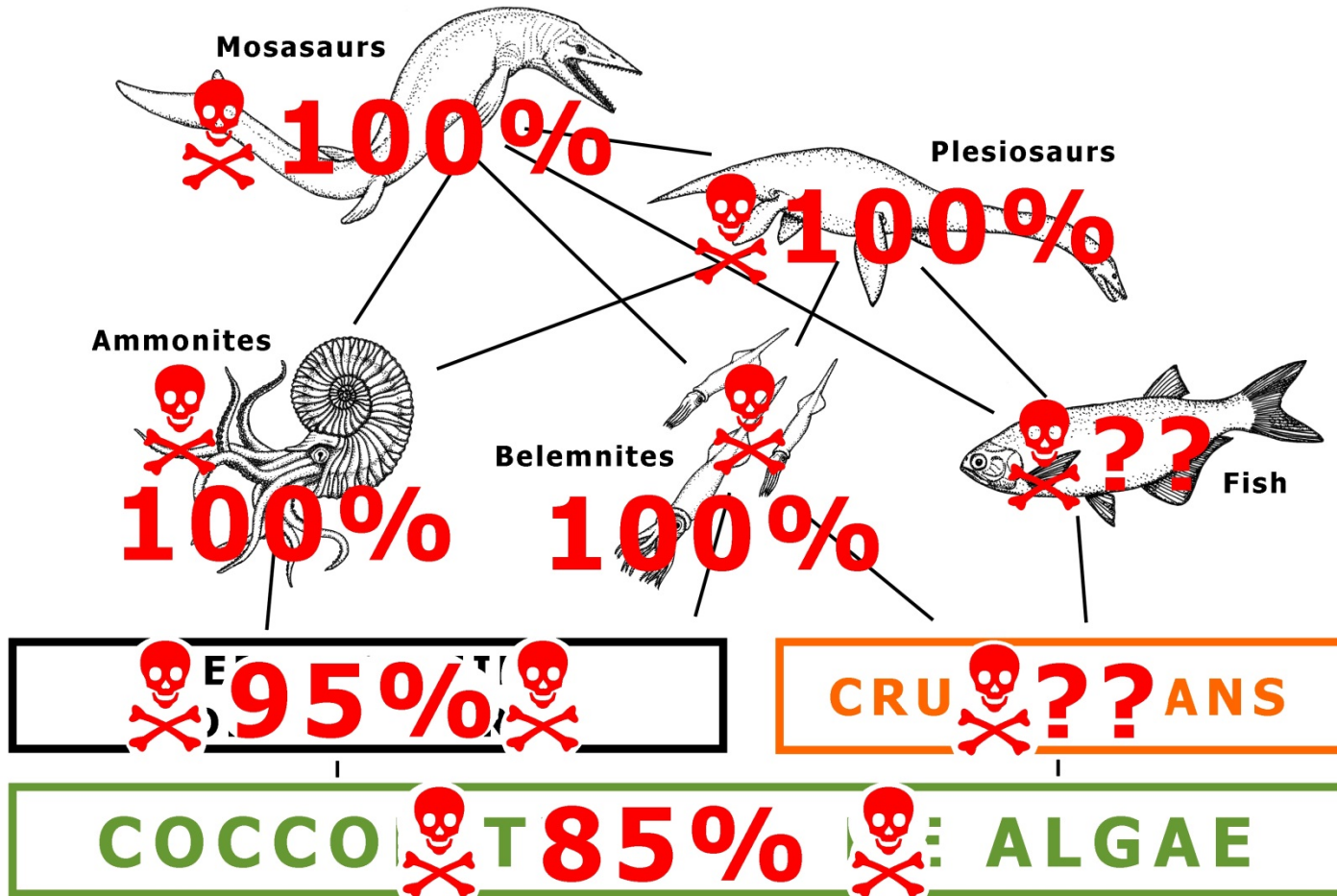
Udeslutter sollyset

= > Fotosyntese-baserede fødekæder  
kollapser

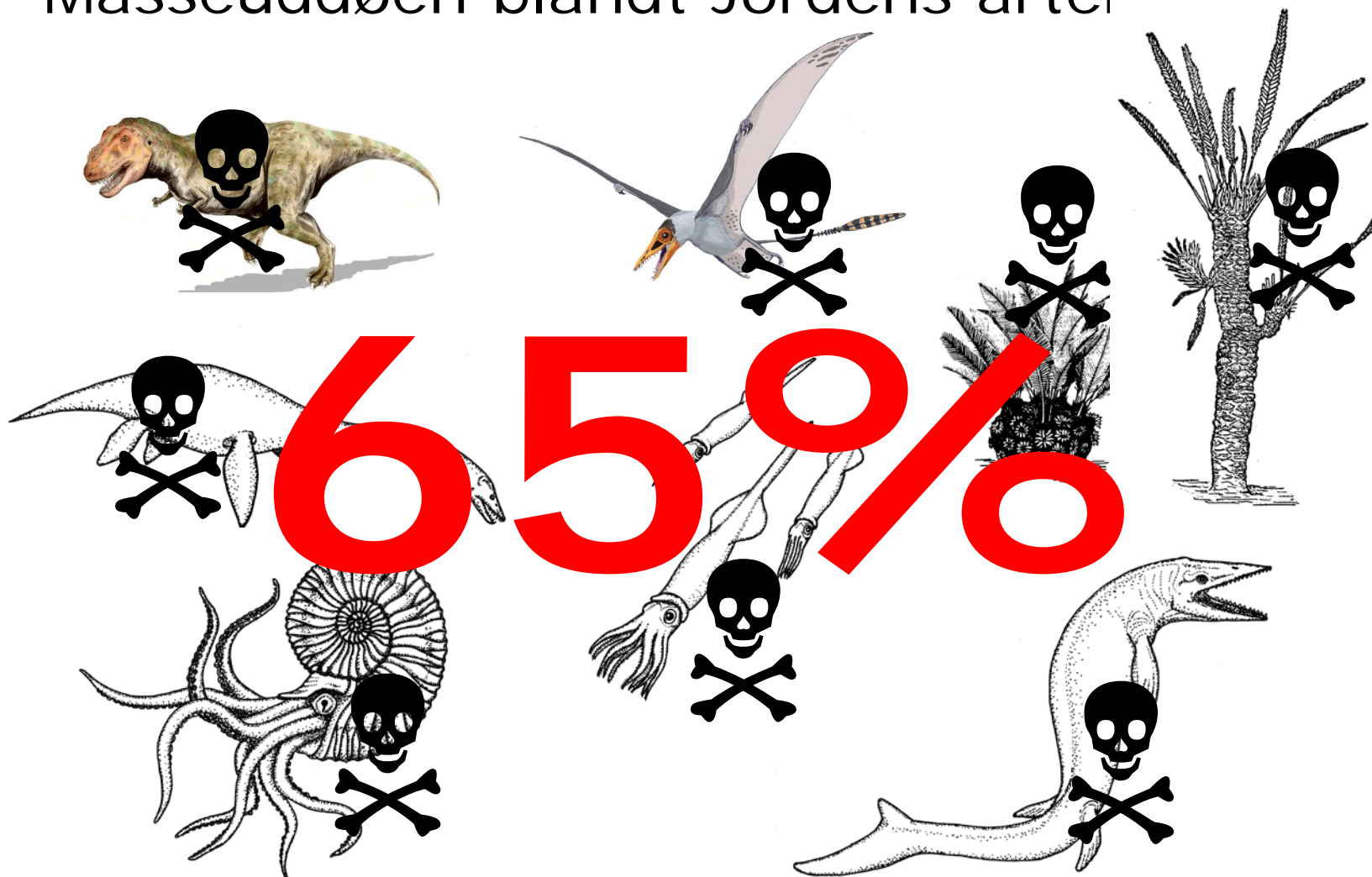
# Fødekæde i havet



# Fødekæde bryder sammen nedefra



# 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



# Archaeopteryx



*Archaeopteryx*

147 mio. år siden

Krage-størrelse



Berlin-fossilet  
(beskrevet 1877)

Arme  $\geq$  Ben

Tænder

Frie fingre

Kløer på hånden

Lang, knoglet hale

Chiappe, L.M. & Dyke, G.J. (2006): The early evolutionary history of birds.  
*Journal of the Paleontological Society of Korea* **22** (1), pp 133-151



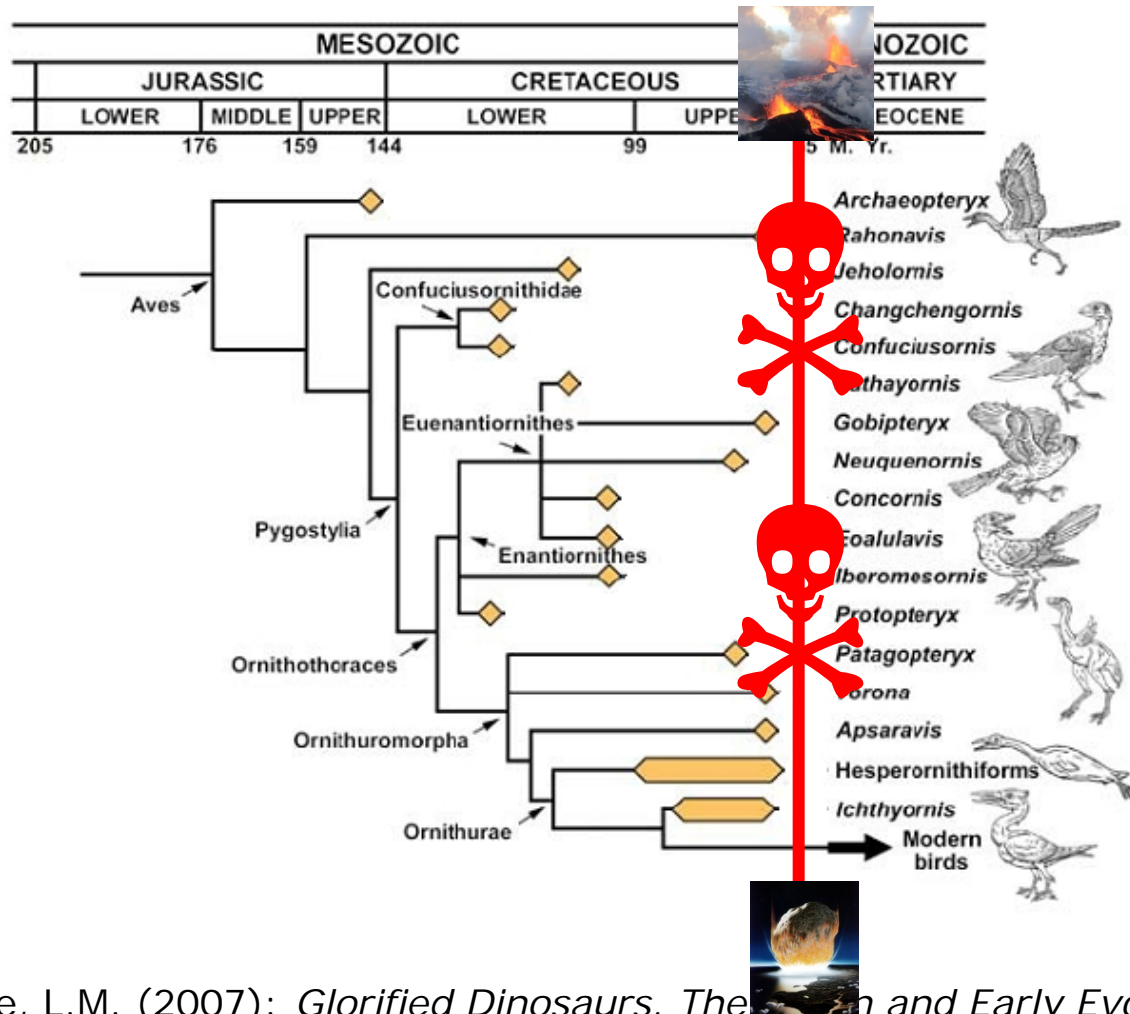


# Fylogeni: Fuglenes slægtskab i Kridttiden

Fortid



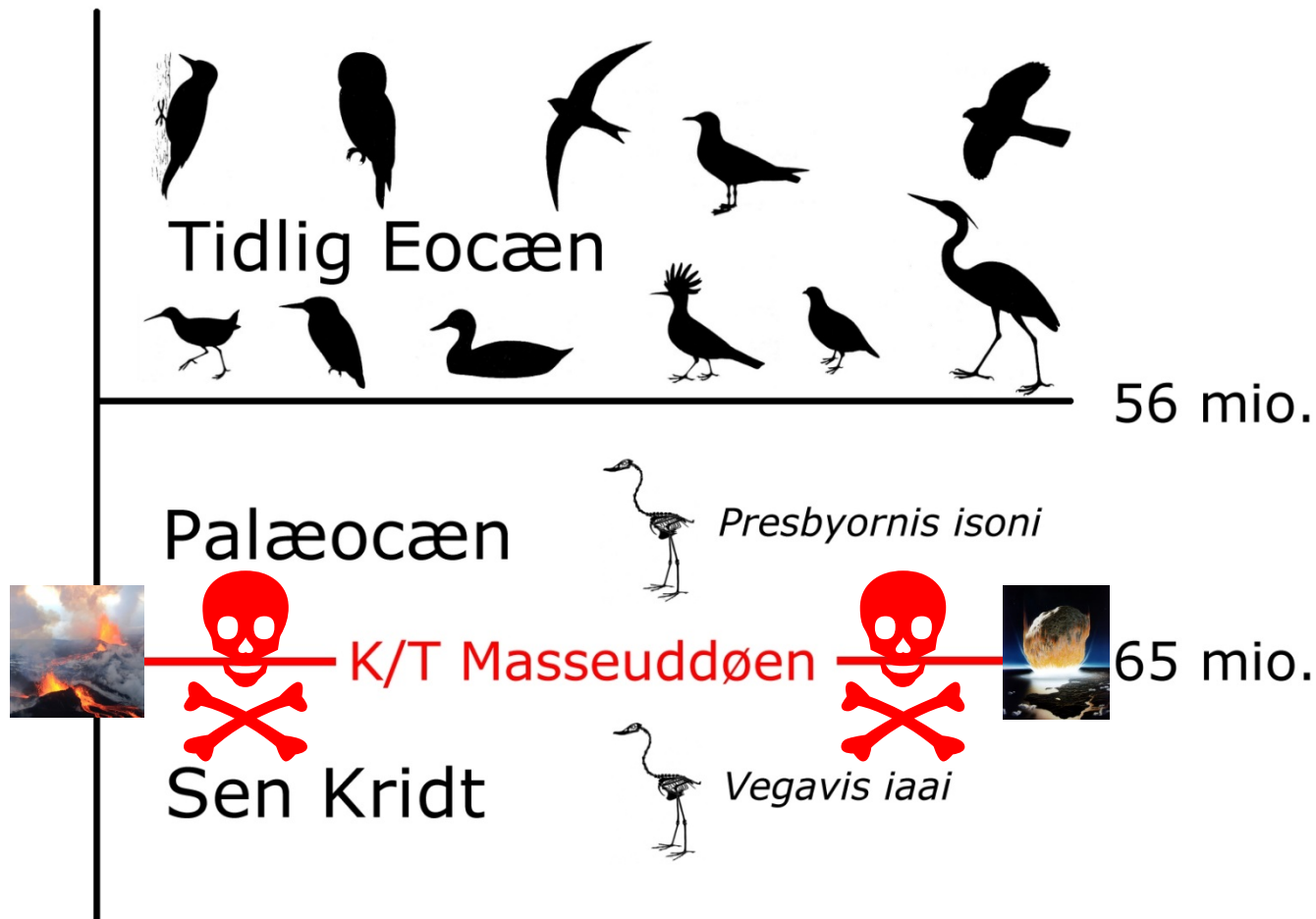
Nutid



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



# Tidligste fossiler af moderne fugle



# Paleocæn (65 – 56 mio. år)

## Tilstedeværende fuglegrupper:

- Stenfugle (Palaeognathae: Strudse/tinamu-linien) +
- Andefugle (Anseriformes) +
- †Bentandede fugle (Odontopterygiformes) +
- 'Neoaves'-linien:
  - Pingviner (Sphenisciformes) +
  - Ugler (Strigiformes) +



# Avian Phylogenomics Project

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

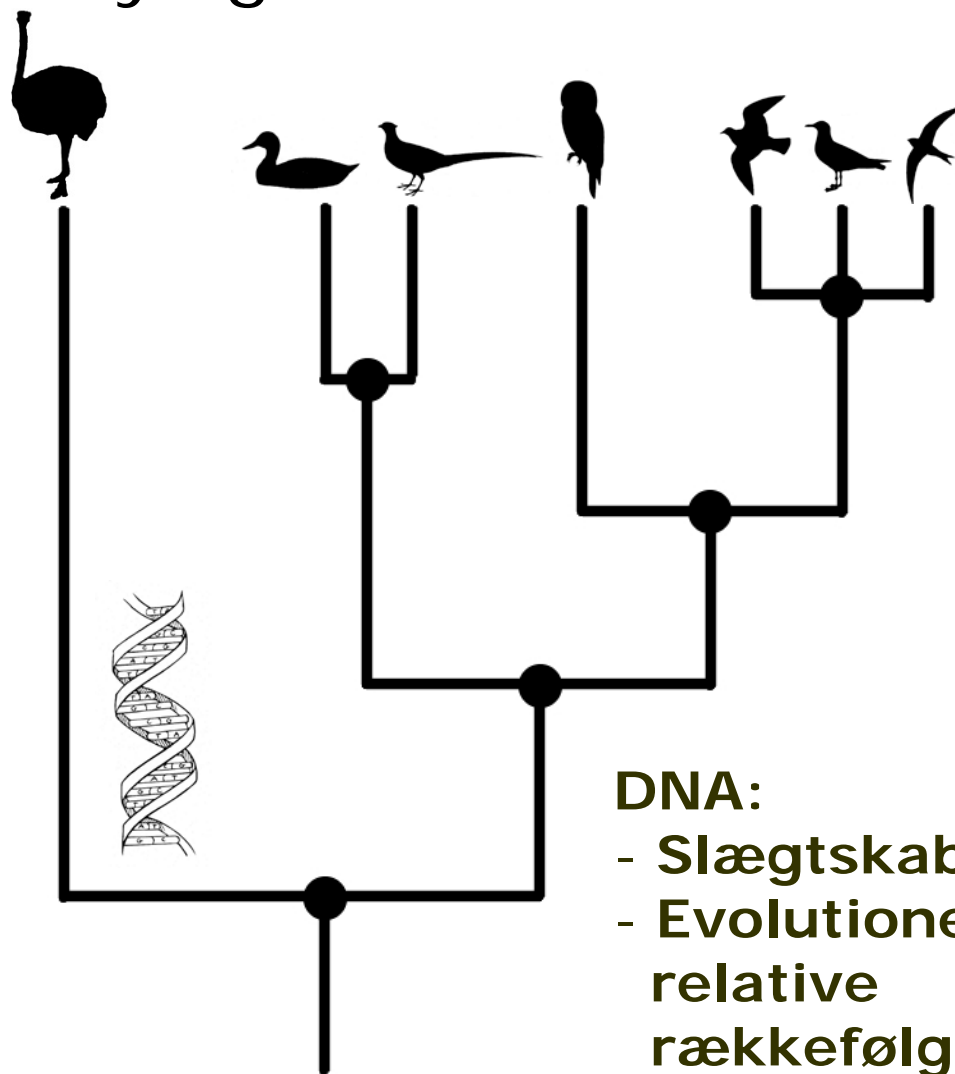
Erich D. Jarvis<sup>1\*#</sup>, Siavash Mirarab<sup>2\*</sup>, Andre J. Aberer<sup>3</sup>, Bo Li<sup>4,5,6</sup>, Peter Houde<sup>7</sup>, Cai Li<sup>4,6</sup>, Simon Y. W. Ho<sup>8</sup>, Brant C. Faircloth<sup>9</sup>, Benoit Nabholz<sup>10</sup>, Jason T. Howard<sup>1</sup>, Alexander Suh<sup>11</sup>, Claudia C. Weber<sup>11</sup>, Rute R. da Fonseca<sup>6</sup>, Jianwen Li<sup>4</sup>, Fang Zhang<sup>4</sup>, Hui Li<sup>4</sup>, Long Zhou<sup>4</sup>, Nitish Narula<sup>7,12</sup>, Liang Liu<sup>13</sup>, Ganesh Ganapathy<sup>1</sup>, Bastien Boussau<sup>14</sup>, Md. Shamsuzzoha Bayzid<sup>2</sup>, Volodymyr Zavidovych<sup>1</sup>, Sankar Subramanian<sup>15</sup>, Toni Gabaldón<sup>16,17,18</sup>, Salvador Capella-Gutiérrez<sup>16,17</sup>, Jaime Huerta-Cepas<sup>16,17</sup>, Bhanu Rekepalli<sup>19</sup>, Kasper Munch<sup>20</sup>, Mikkel Schierup<sup>20</sup>, Bent Lindow<sup>6</sup>, Wesley C. Warren<sup>21</sup>, David Ray<sup>22,23,24</sup>, Richard E. Green<sup>25</sup>, Michael Bruford<sup>26</sup>, Xiangjiang Zhan<sup>26,27</sup>, Andrew Dixon<sup>28</sup>, Shengbin Li<sup>29</sup>, Ning Li<sup>30</sup>, Yinhua Huang<sup>30</sup>, Elizabeth P. Derryberry<sup>31,32</sup>, Mads Frost Bertelsen<sup>33</sup>, Frederick H. Sheldon<sup>32</sup>, Robb T. Brumfield<sup>32</sup>, Claudio V. Mello<sup>34,35</sup>, Peter V. Lovell<sup>34</sup>, Morgan Wirthlin<sup>34</sup>, Maria Paula Cruz Schneider<sup>35,36</sup>, Francisco Prosdocimi<sup>35,37</sup>, José Alfredo Samaniego<sup>6</sup>, Amhed Missael Vargas Velazquez<sup>6</sup>, Alonzo Alfaro-Núñez<sup>6</sup>, Paula F. Campos<sup>6</sup>, Bent Petersen<sup>38</sup>, Thomas Sicheritz-Ponten<sup>38</sup>, An Pas<sup>39</sup>, Tom Bailey<sup>40</sup>, Paul Scofield<sup>41</sup>, Michael Bunce<sup>42</sup>, David M. Lambert<sup>15</sup>, Qi Zhou<sup>43</sup>, Polina Perelman<sup>44</sup>, Amy C. Driskell<sup>45</sup>, Beth Shapiro<sup>25</sup>, Zijun Xiong<sup>4</sup>, Yongli Zeng<sup>4</sup>, Shiping Liu<sup>4</sup>, Zhenyu Li<sup>4</sup>, Binghang Liu<sup>4</sup>, Kui Wu<sup>4</sup>, Jin Xiao<sup>4</sup>, Xiong Yinqi<sup>4</sup>, Qiumei Zheng<sup>4</sup>, Yong Zhang<sup>4</sup>, Huanming Yang<sup>46</sup>, Jian Wang<sup>46</sup>, Linnea Smeds<sup>11</sup>, Frank E. Rheindt<sup>47</sup>, Michael Braun<sup>48</sup>, Jon Fjeldsa<sup>49</sup>, Ludovic Orlando<sup>6</sup>, Keith Barker<sup>50</sup>, Knud Andreas Jønsson<sup>49,51,52</sup>, Warren Johnson<sup>53</sup>, Klaus-Peter Koepfli<sup>54</sup>, Stephen O'Brien<sup>55,54</sup>, David Haussler<sup>57</sup>, Oliver A. Ryder<sup>58</sup>, Carsten Rahbek<sup>49,59</sup>, Eske Willerslev<sup>6</sup>, Gary R. Graves<sup>49,60</sup>, Travis C. Glenn<sup>61</sup>, John McCormack<sup>62</sup>, Dave Burt<sup>63</sup>, Hans Ellegren<sup>11</sup>, Per Alström<sup>64,65</sup>, Scott V. Edwards<sup>66</sup>, Alexandros Stamatakis<sup>3,67</sup>, David P. Mindell<sup>68</sup>, Joel Cracraft<sup>69</sup>, Edward L. Braun<sup>70</sup>, Tandy Warnow<sup>2#</sup>, Wang Jun<sup>46,71,71,73,74#</sup>, M Thomas P Gilbert<sup>6,49#</sup>, Guojie Zhang<sup>4,49#</sup>







# Meget forenklet fylogeni



**DNA:**  
- Slægtskab  
- Evolutionens  
relative  
rækkefølge





# Fossiler: Evolutionære mellemtider



Joel Cracraft  
*American Museum of Natural History*



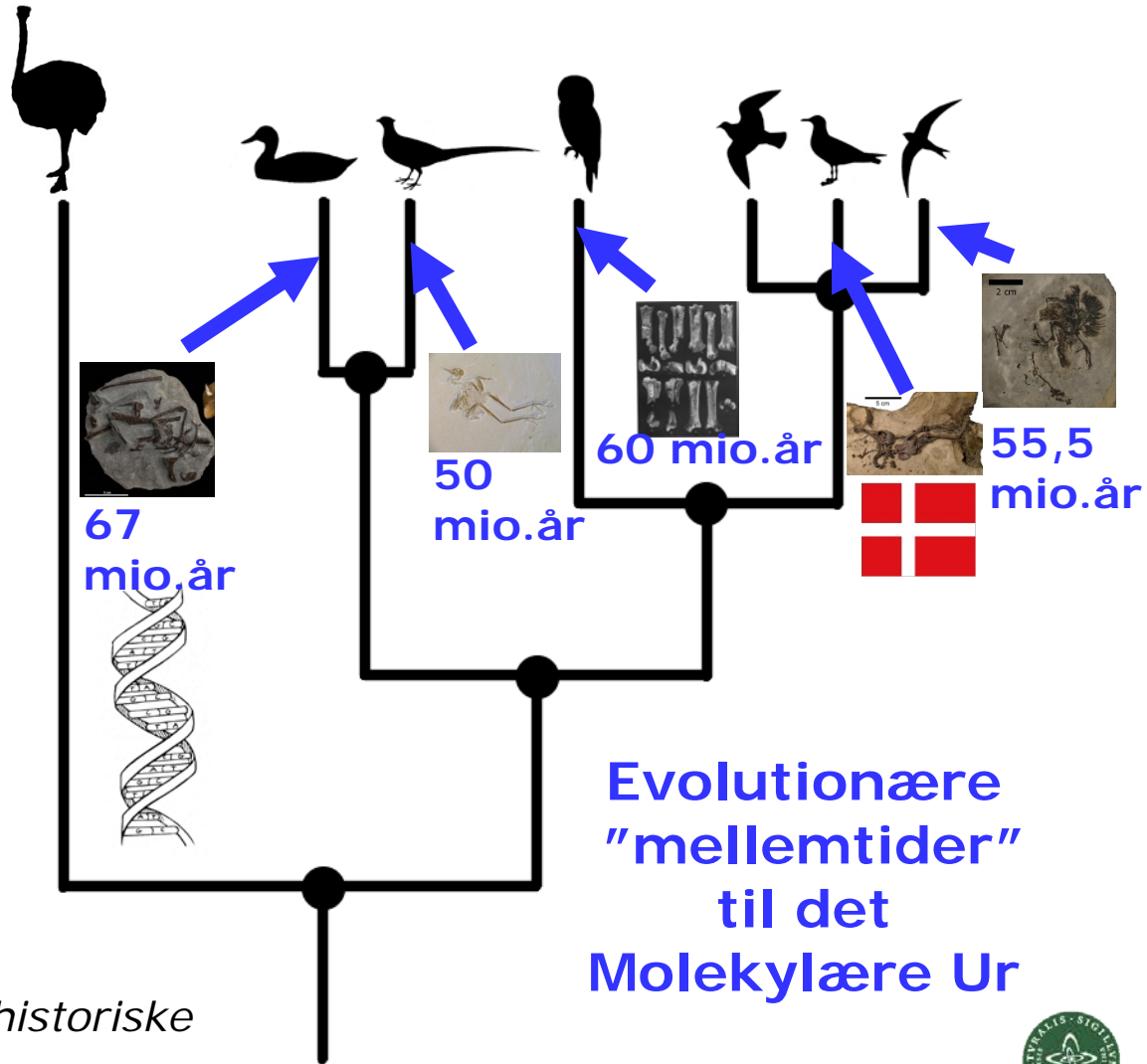
Peter Houde  
*New Mexico State University*



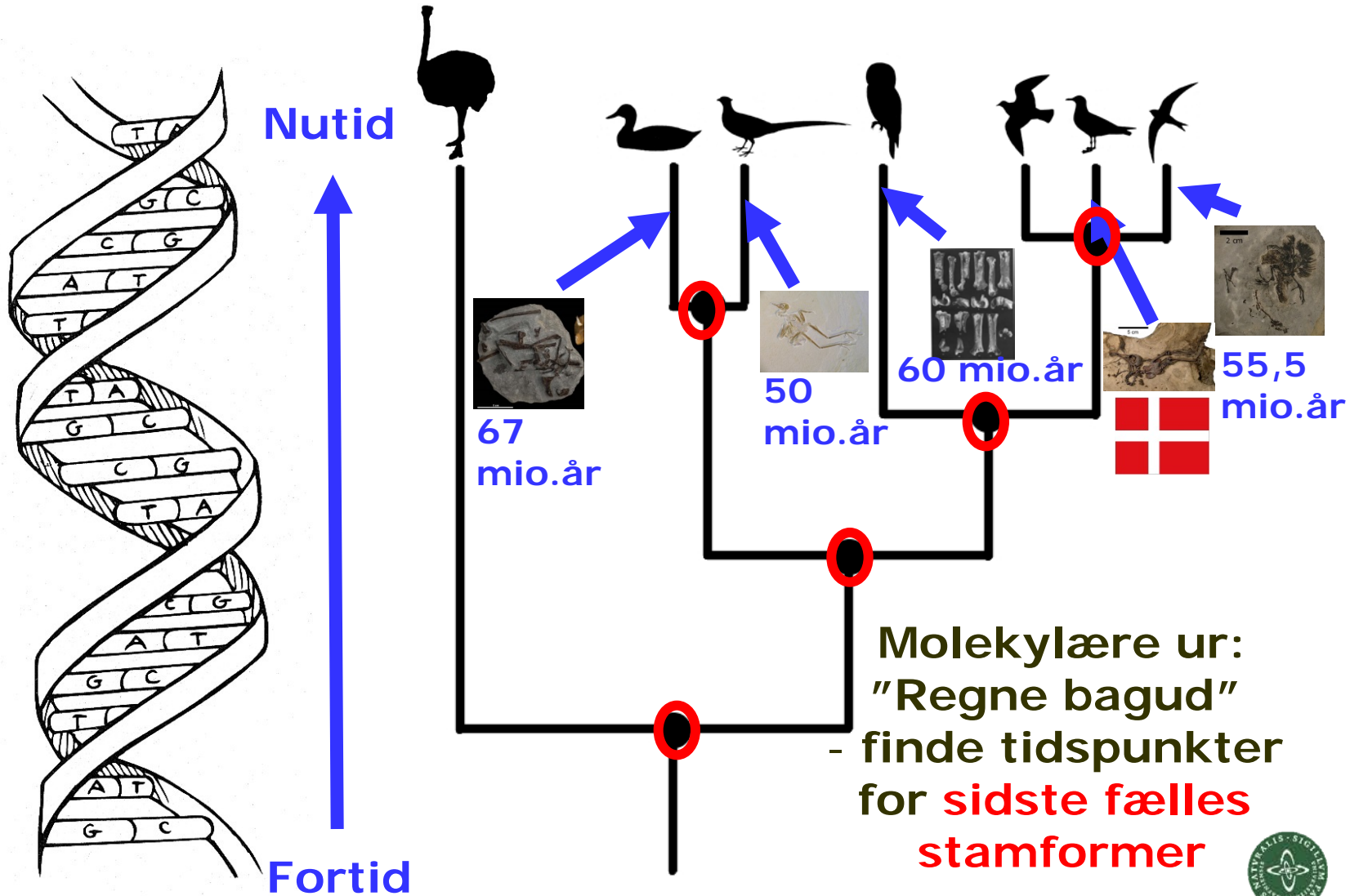
Jon Fjeldså  
*Statens Naturhistoriske Museum*



Bent Lindow  
*Statens Naturhistoriske Museum*



# DNA + fossiler => mutationsrater

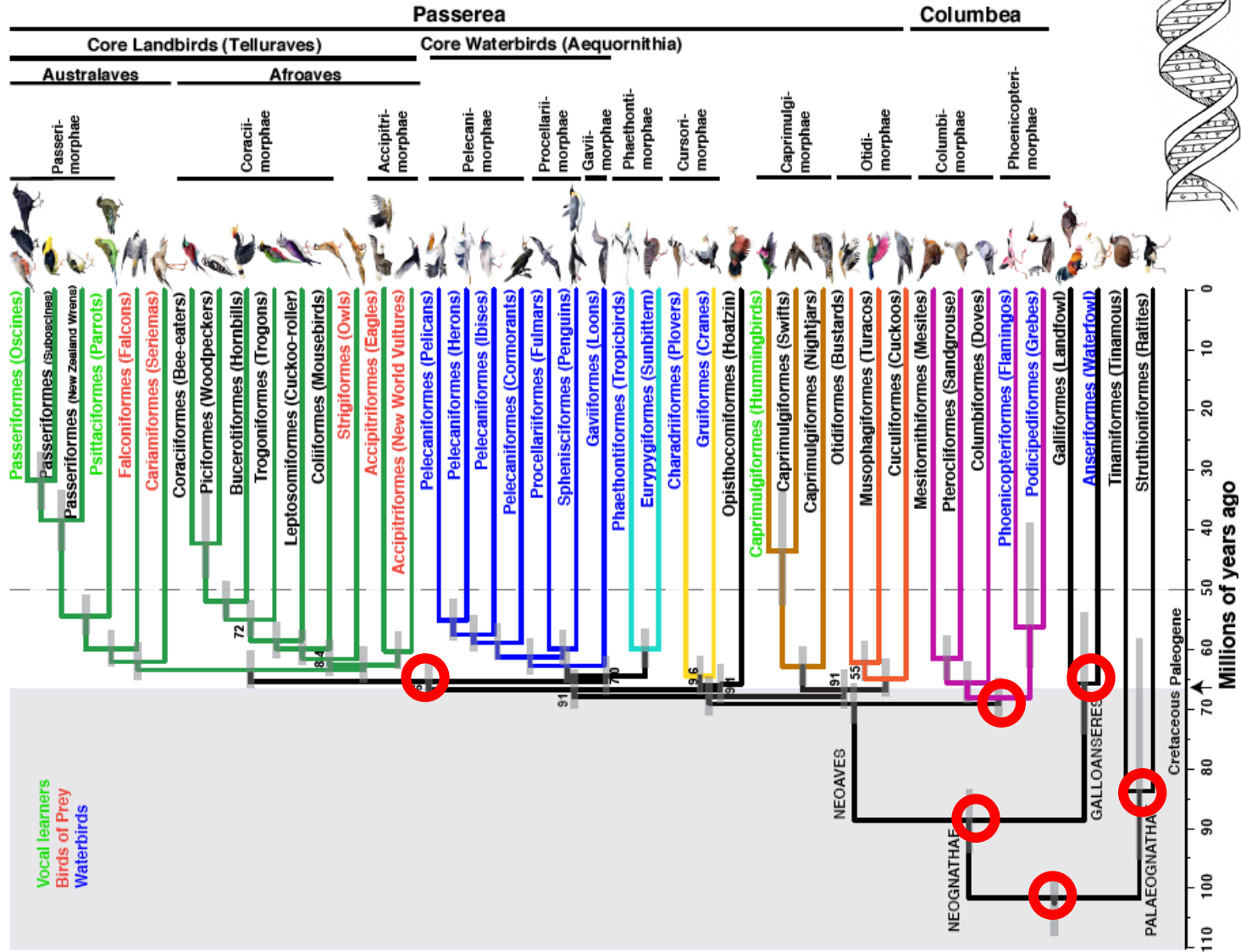


# Fylogenien fortæller om fortiden

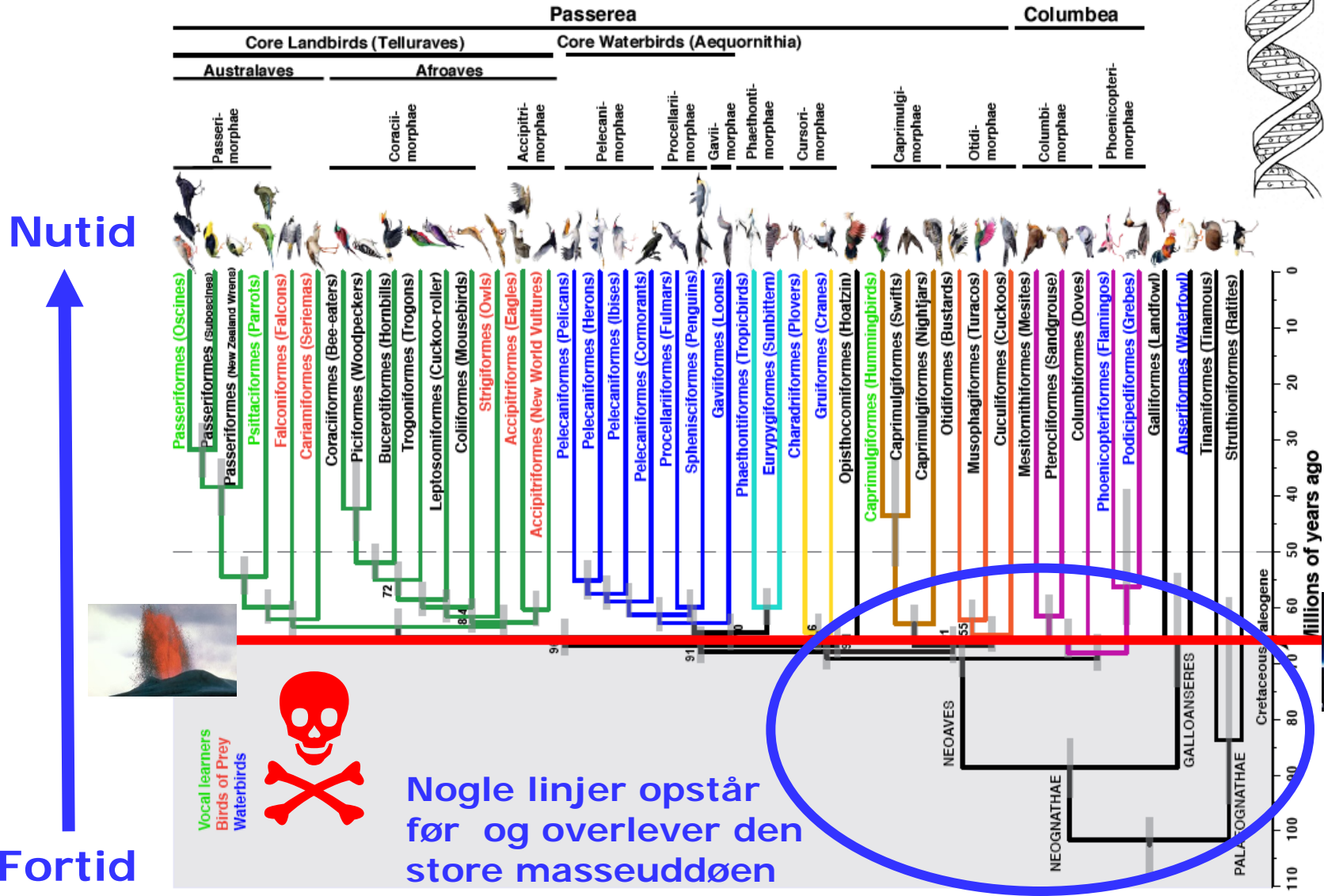
Nutid



Fortid



# Fylogenen fortæller om fortiden



Nutid

Fortid

Vocal learners  
Birds of Prey  
Waterbirds

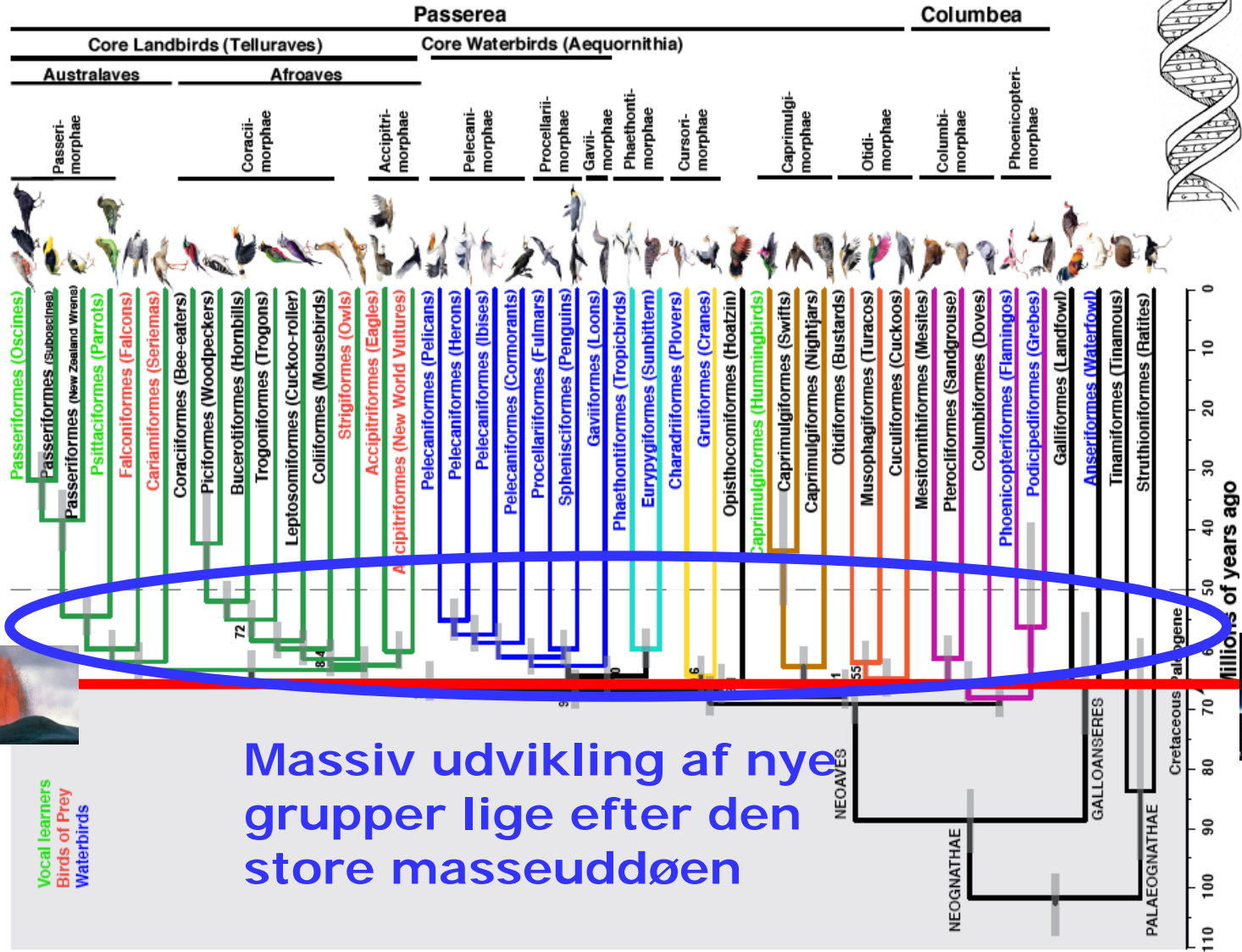
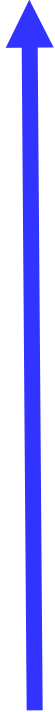


Nogle linjer opstår før og overlever den store masseuddøen



# Fylogenien fortæller om fortiden

Nutid



Massiv udvikling af nye grupper lige efter den store masseuddøen

Fortid





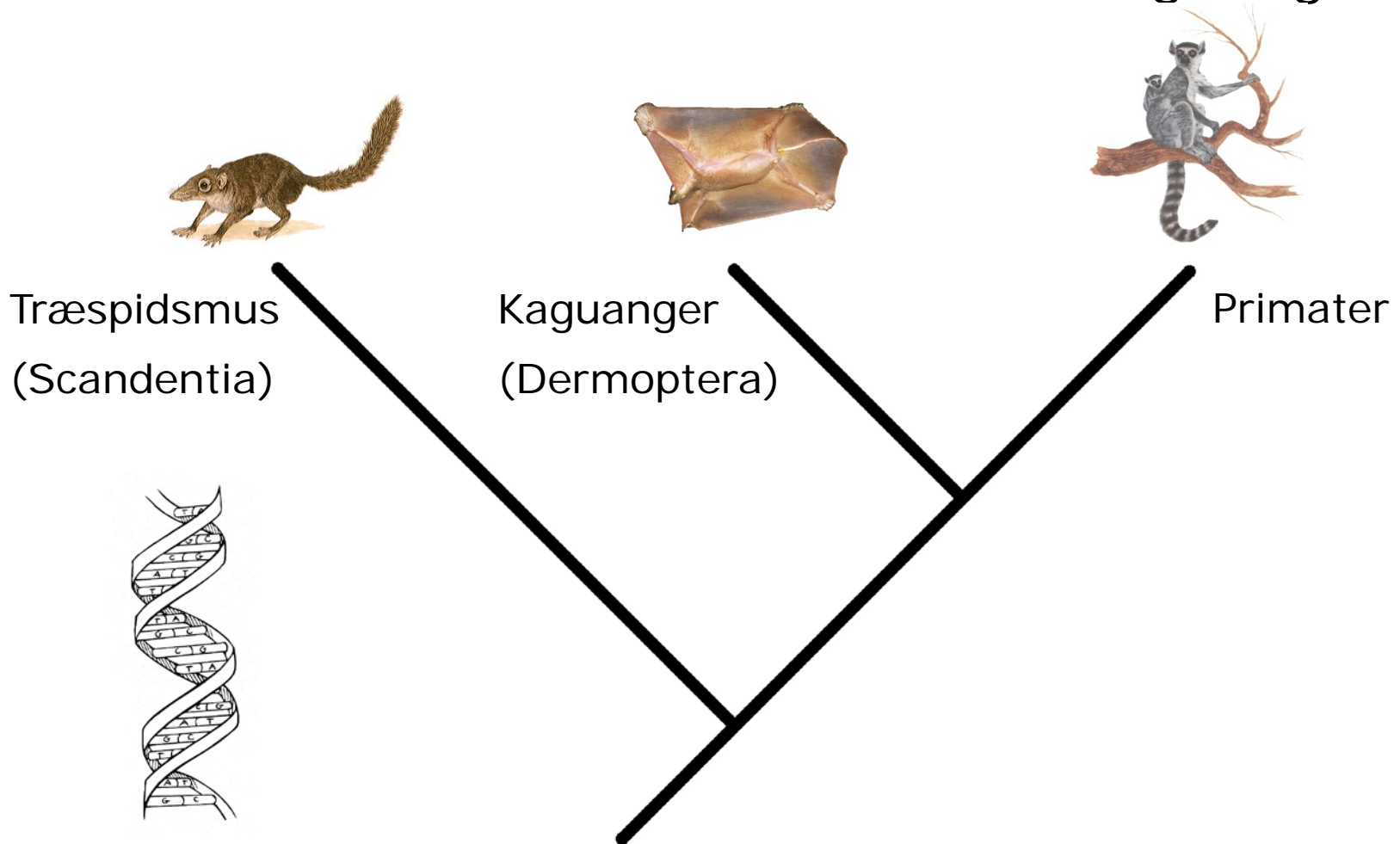
# Avian Phylogenomics Project

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



*Science*: 8 artikler  
+ 20 artikler i andre  
tidsskrifter

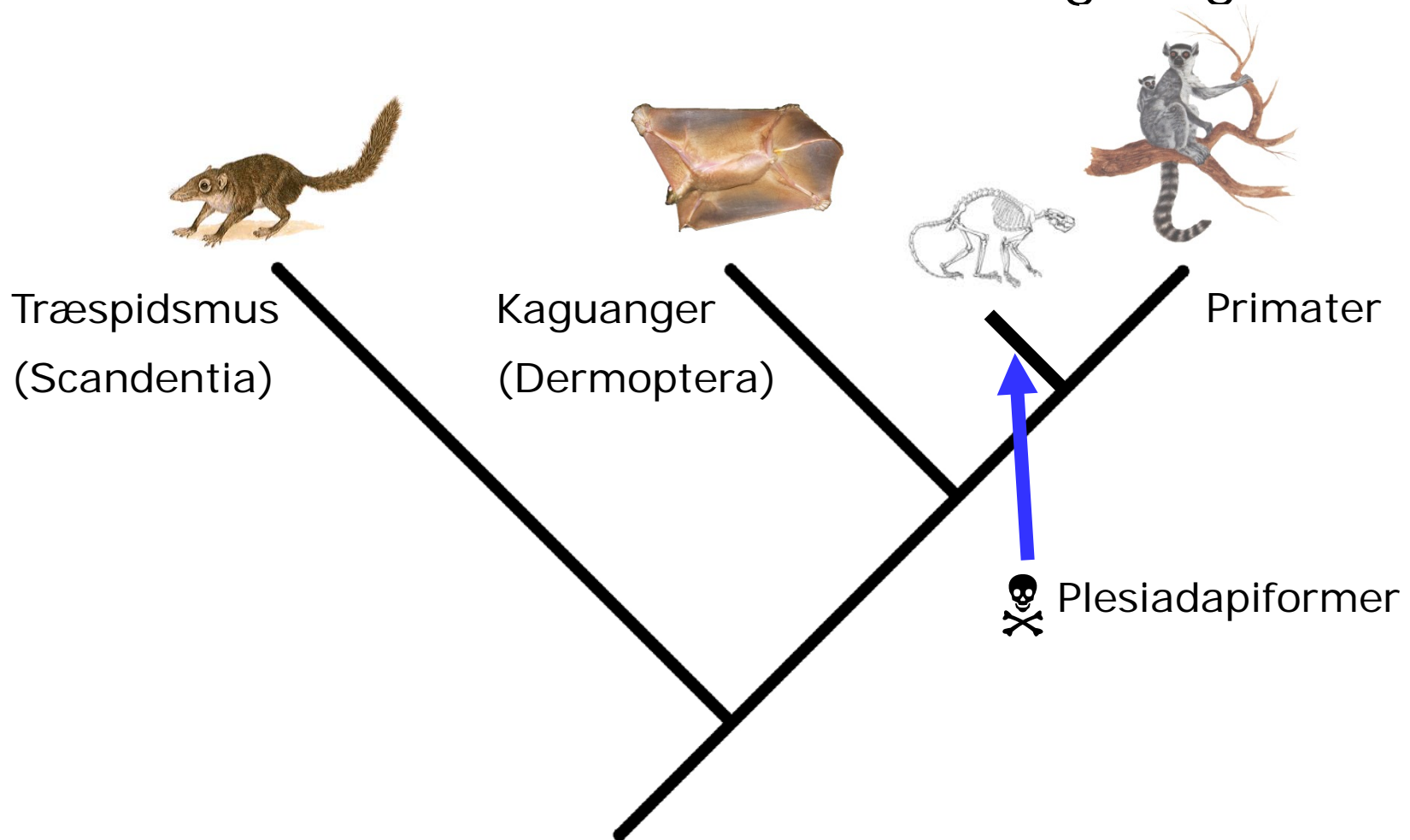
# Primaternes nærmeste nulevende slægtninge



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



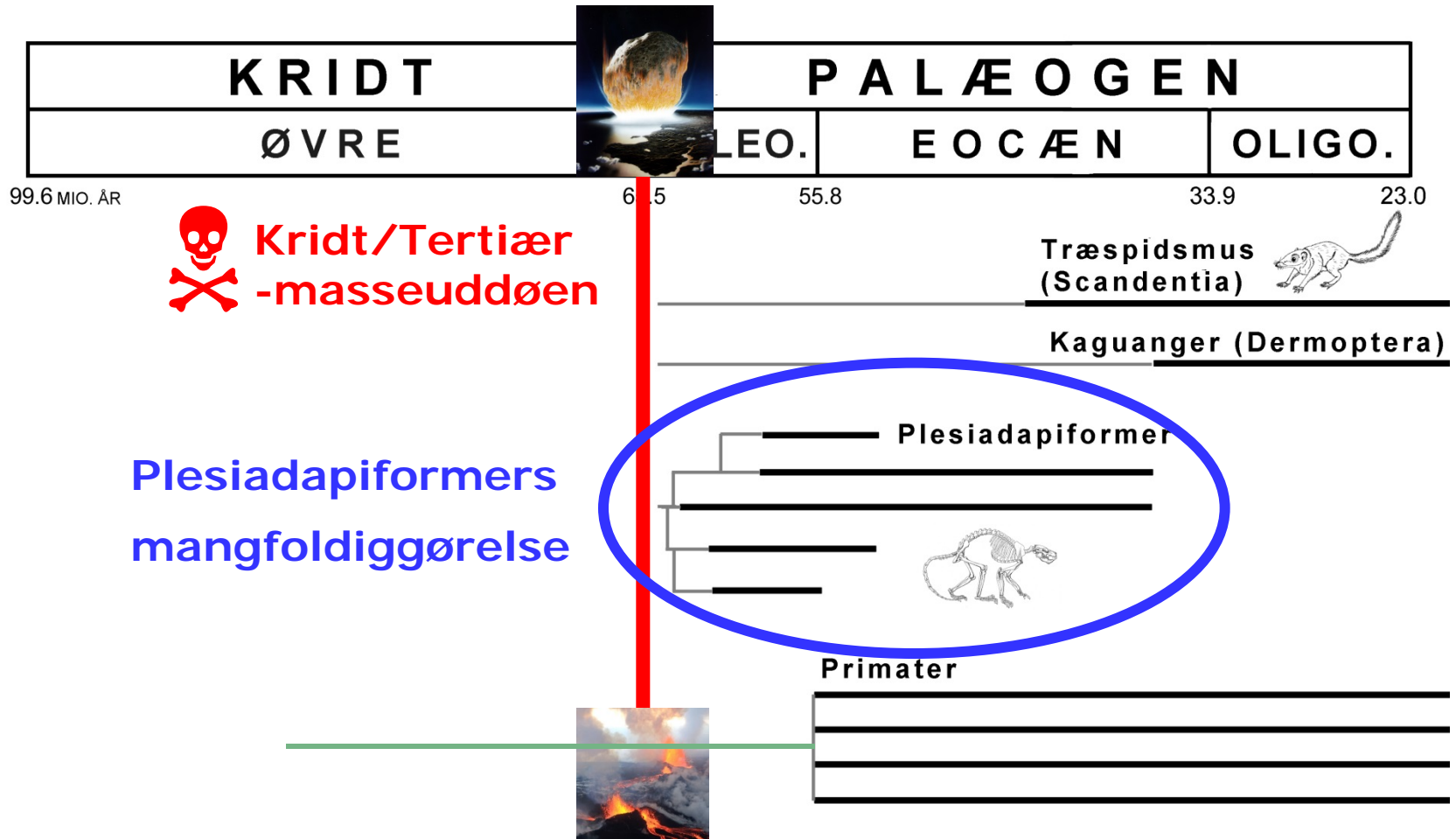
# Primaternes nærmeste uddøde slægtninge



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



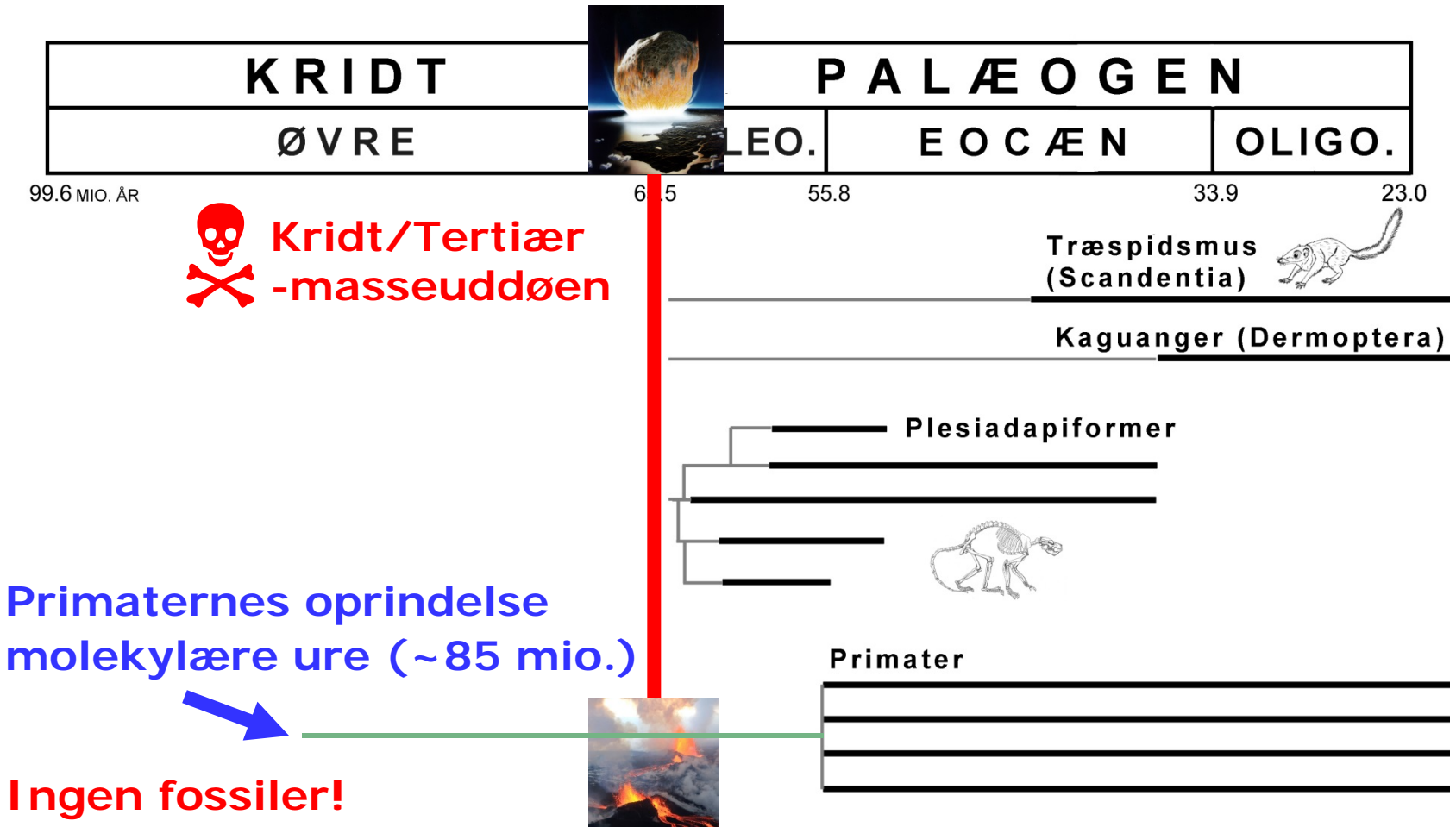
# Plesiadapiformer (65-37 mio. år siden)



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



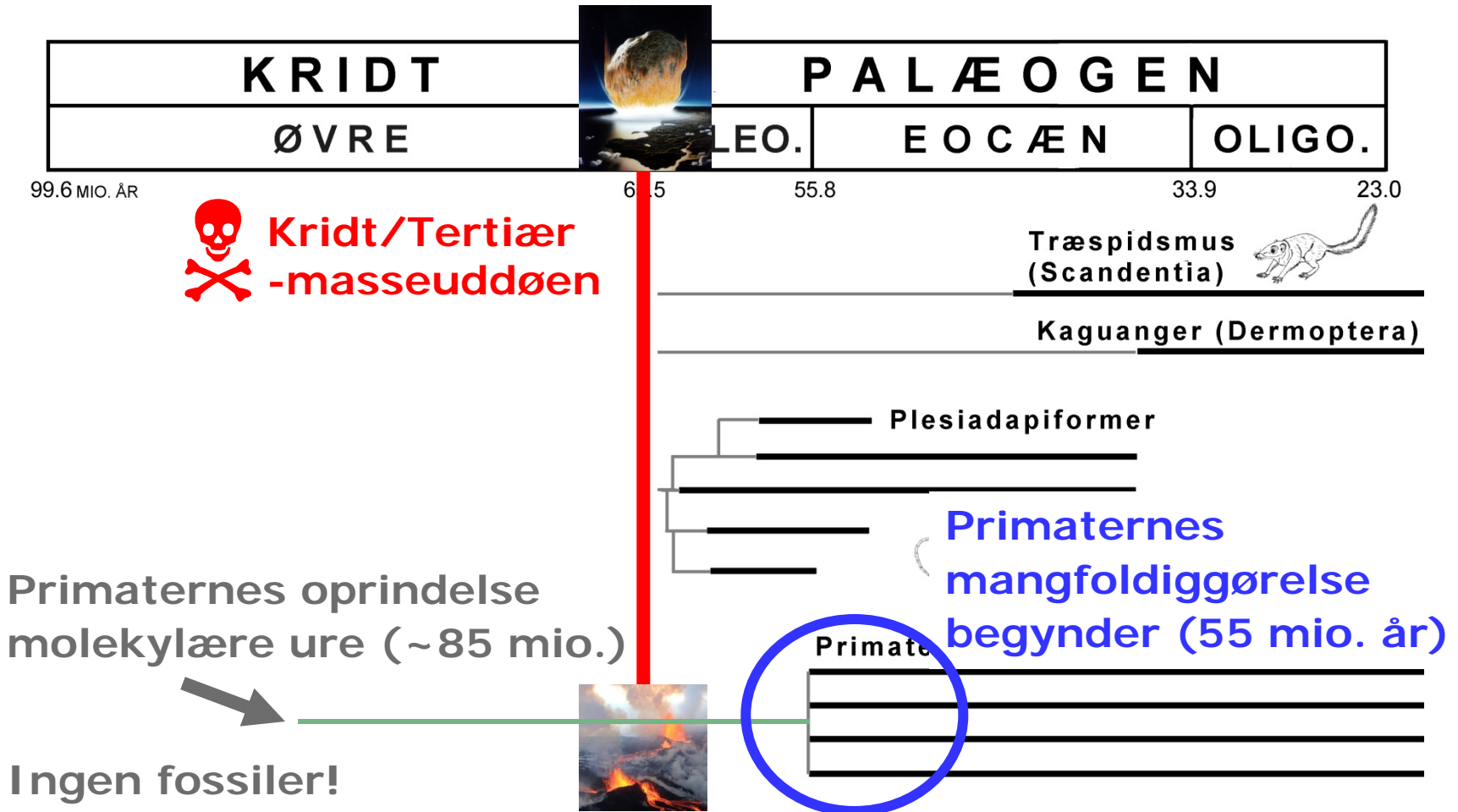
# Plesiadapiformer (65-37 mio. år siden)



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



# Plesiadaptiformer (65-37 mio. år siden)



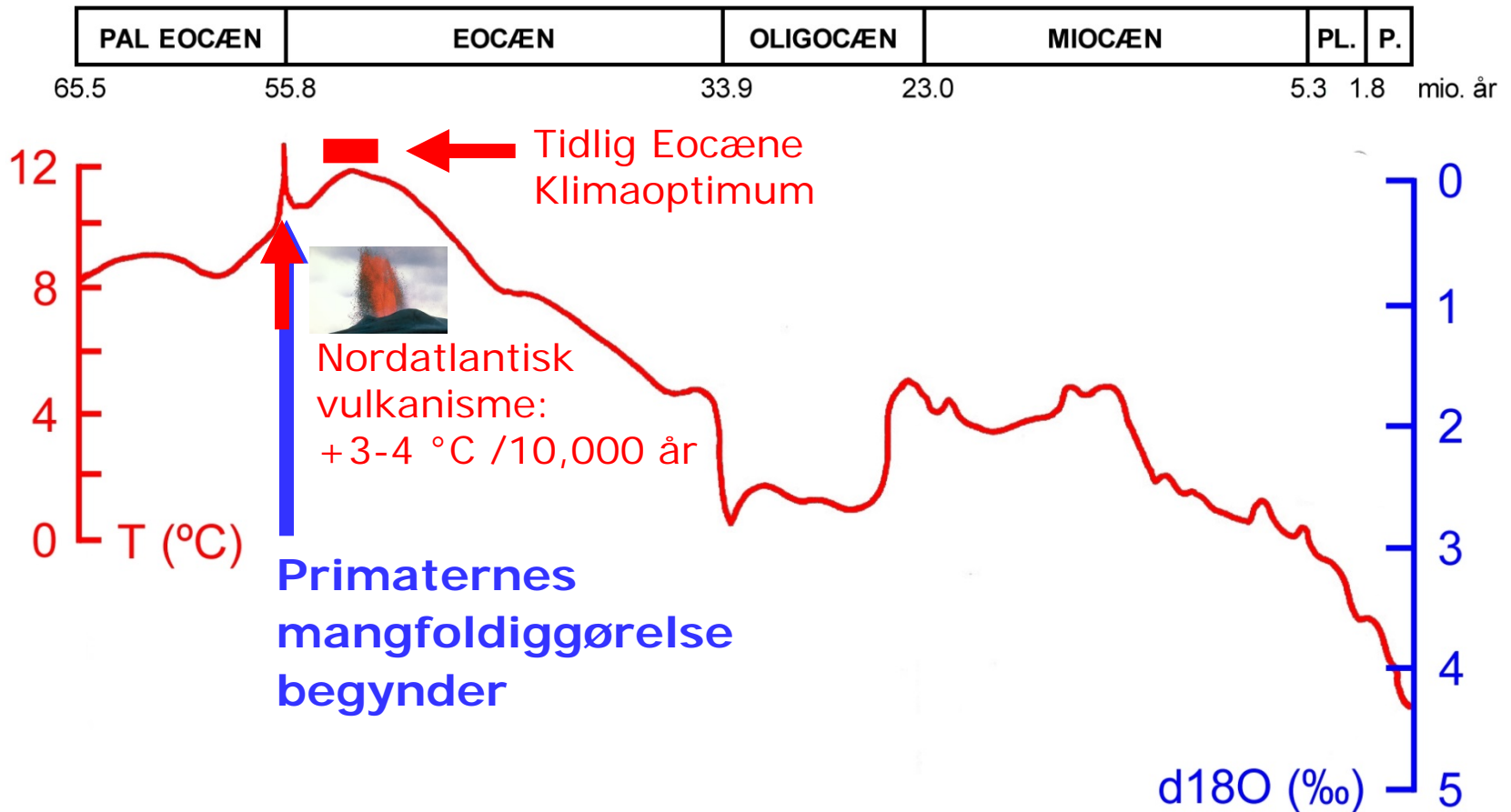
Primaternes oprindelse  
molekylære ure (~85 mio.)

Ingen fossiler!

Bloch, J.I., Silcox, M.T., Boyer, D.M. & Sargis, E.J. (2007): New Paleocene skeletons and the relationships of plesiadaptiforms 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



Tak for jeres opmærksomhed!

