



Marine biosfeer in de stress - en wat gebeurde er in het verleden?

...en manieren voor wetenschap in de klas

Appy Sluijs

**Docent Mariene Wetenschappen / Biogeologie
Aardwetenschappen; Universiteit Utrecht**



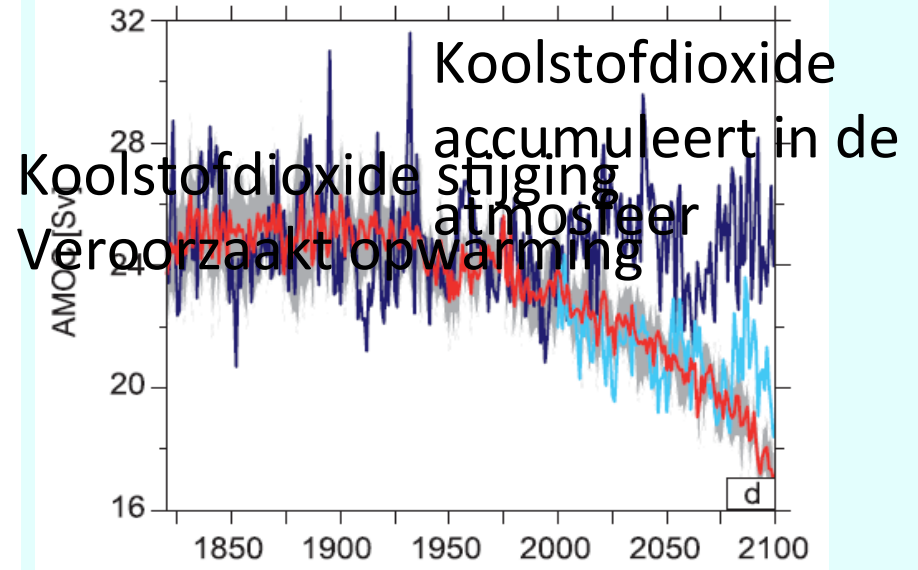
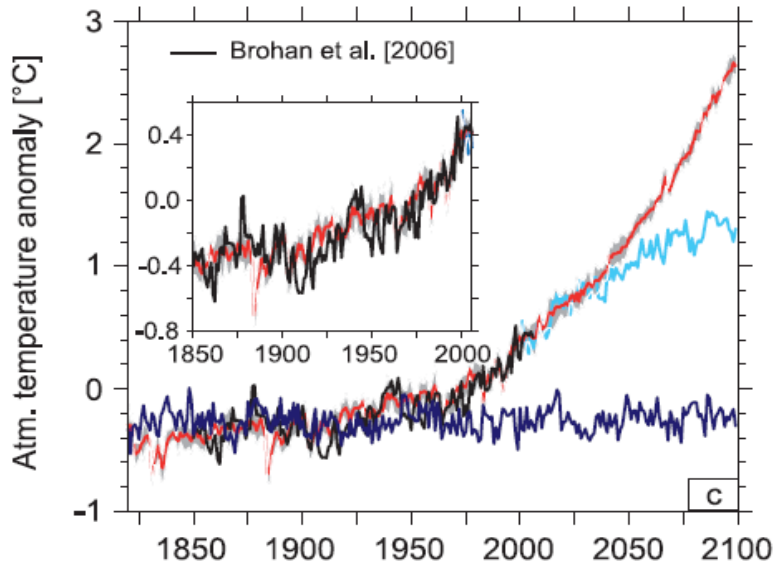
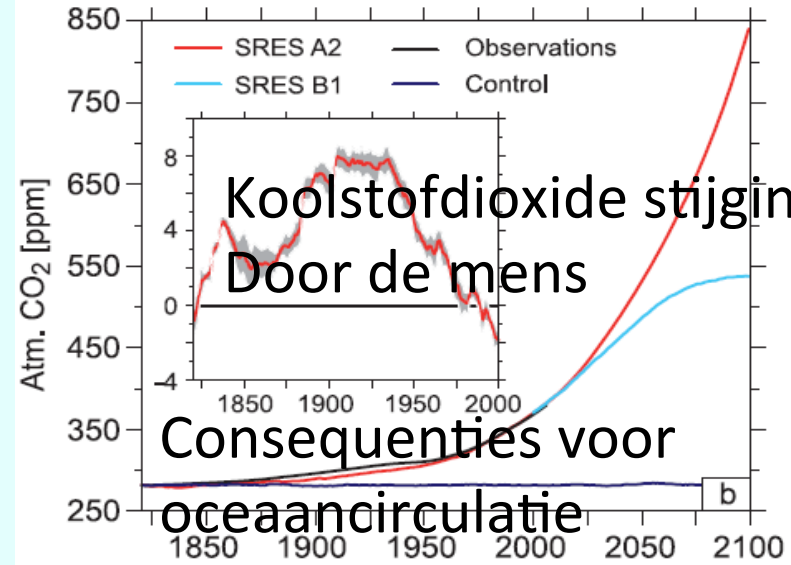
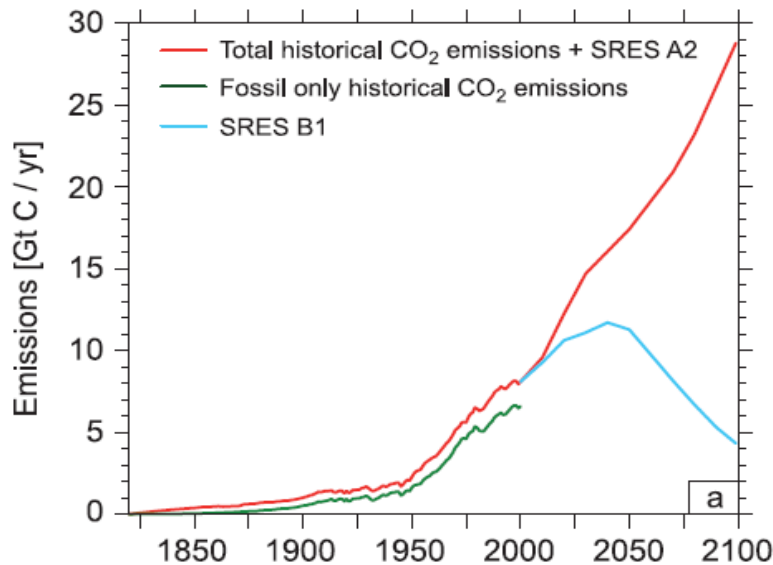
Content

- **De Biologie in de Oceaan van de Toekomst**
 - Hoge Temperatuur
 - Lage concentratie O_2
 - Hoge concentratie CO_2
- De oceaan uit het verleden als imperfecte analoog voor de toekomst

Overkoepelend:

Natuurlijke integratie tussen natuurkunde, scheikunde en biologie op verschillende tijdschalen

De wereld volgens het IPCC: Opwarming





Lot van menselijke CO₂ uitstoot (2000-2007)

1.4 Pg C/jaar



+

7.7 Pg C/jaar



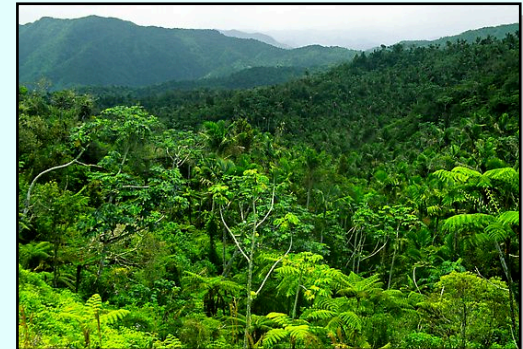
Atmosphere

45%



Land

29%



Oceans

26%

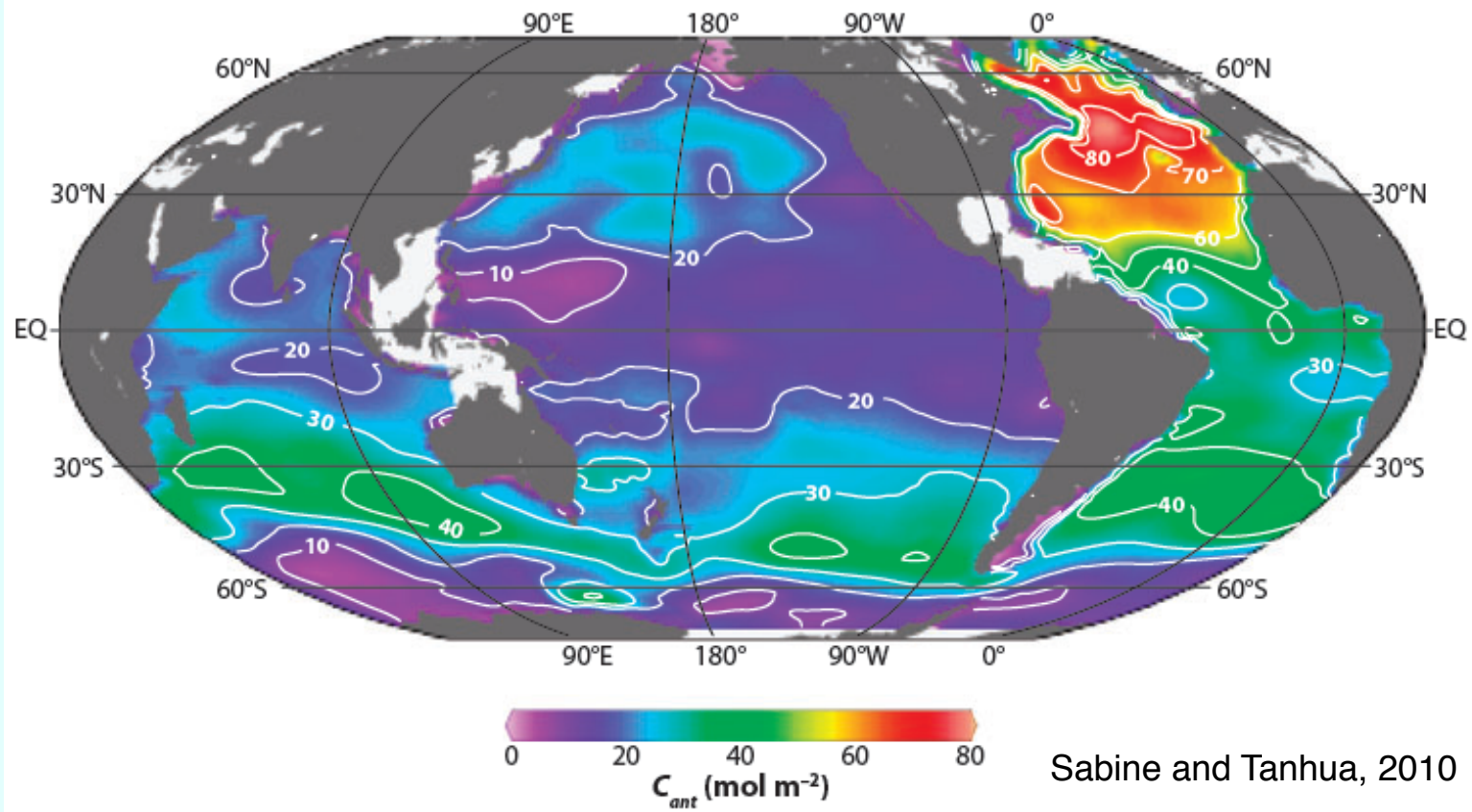


Le Quéré et al. (2009)



High CO₂ World

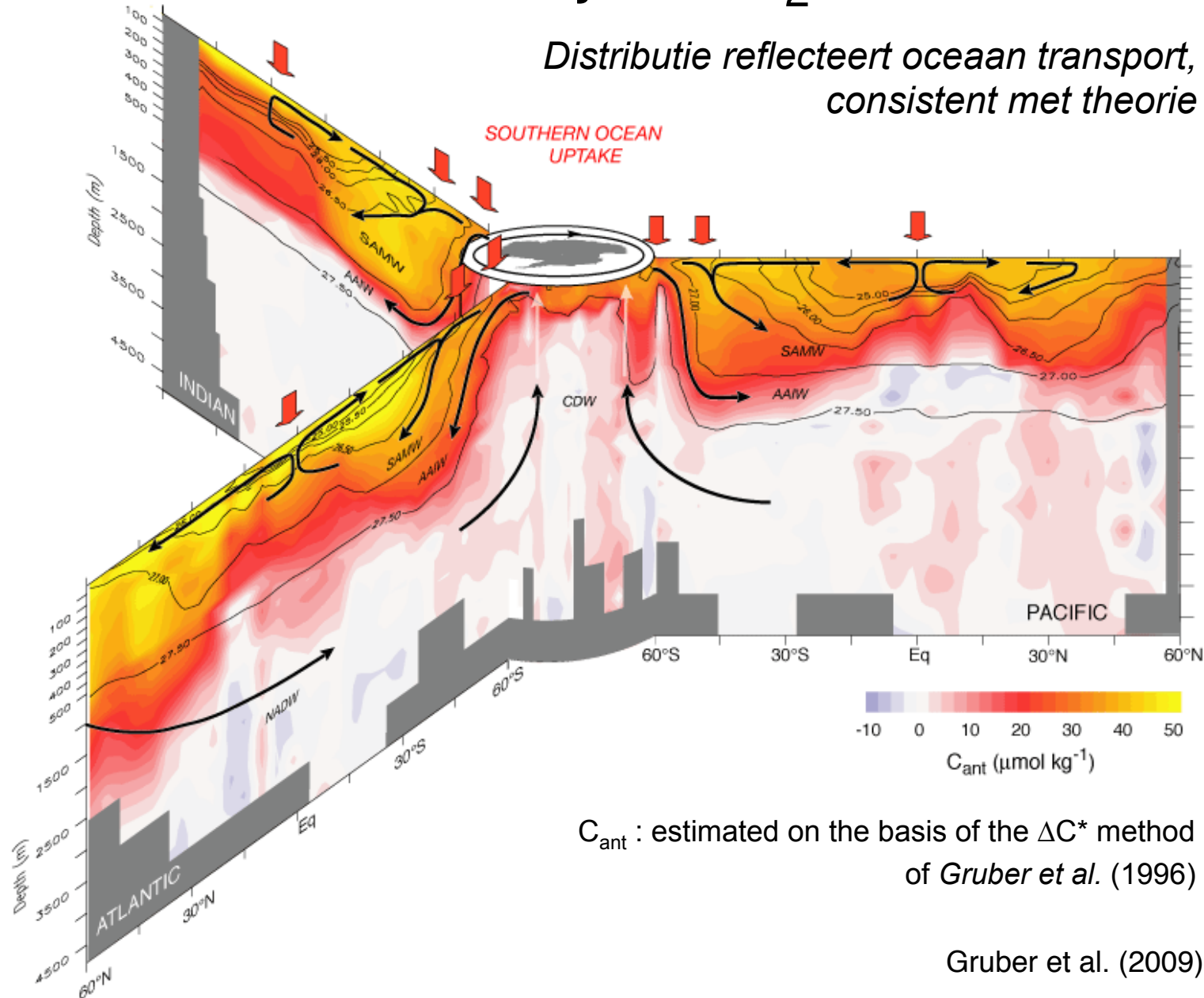
- Pre-industrial pCO₂ ~ 280 ppmv
- Actual (2012) pCO₂ ~ 395 ppmv
- No-ocean world pCO₂ ~ 450 ppmv
(about 1/3 of anthropogenic C in ocean)





Het lot van menselijke CO₂ in the Oceaan

Distributie reflecteert oceaan transport, consistent met theorie



C_{ant} : estimated on the basis of the ΔC* method of Gruber et al. (1996)

Gruber et al. (2009)



Wat gebeurt met CO₂ in zeewater?

- $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$
- $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{HCO}_3^-$
- $\text{CO}_2 + \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HCO}_3^-$

Carbonation:
increase of dissolved
inorganic carbon



Wat gebeurt met CO₂ in zeewater?

- $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$
- $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{HCO}_3^-$

- $\text{CO}_2 + \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HCO}_3^-$

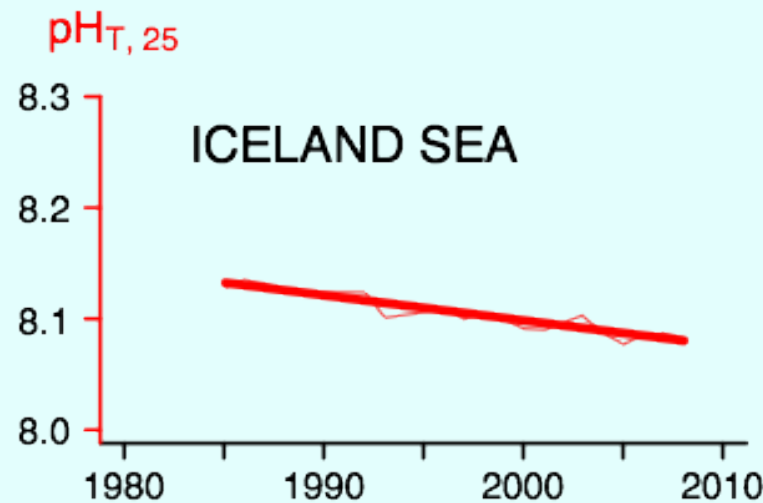
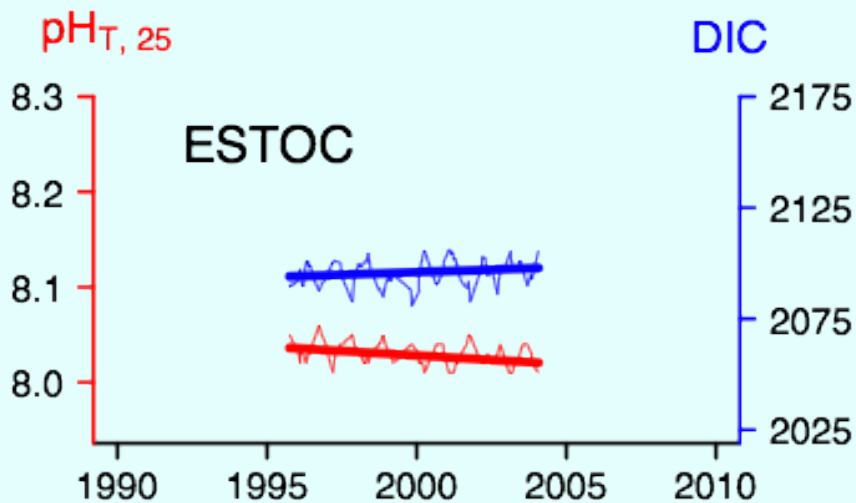
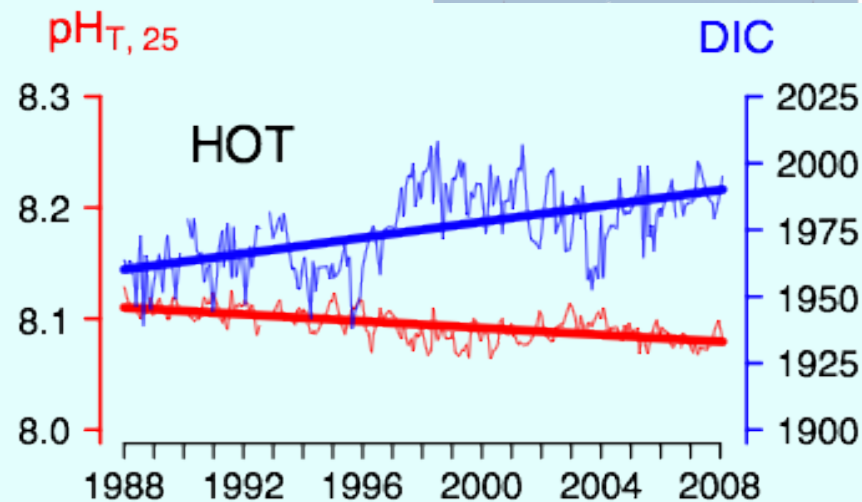
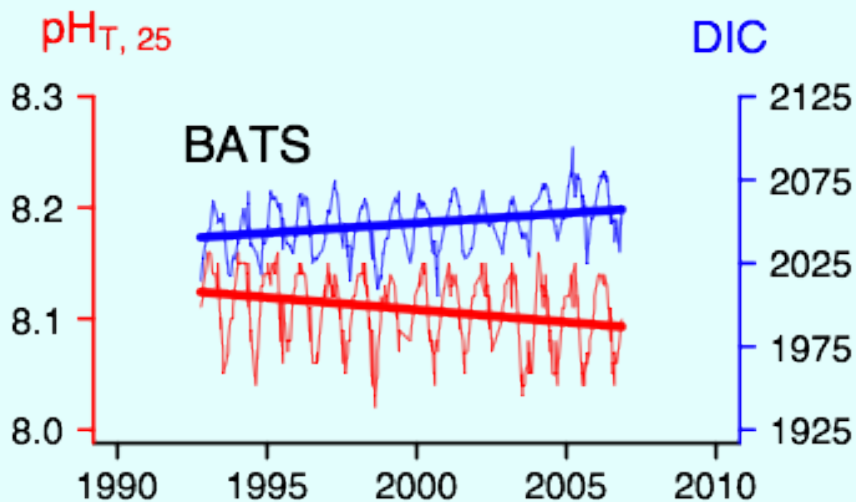
Niet alle H⁺ reageren door

Carbonation:
increase of dissolved
inorganic carbon

Verzuring:
Toename waterstof ionen



Ocean-atmosphere $[\text{CO}_2] \uparrow \rightarrow \text{pH} \downarrow$

















Wat zijn de gevolgen voor biologie?

- Oceaan pH is goed gebufferd: typische waarde is 8.2 (licht basisch) maar zeer stabiel
- Vraag: is instabiliteit schadelijk?
 - Voor welke soorten?
 - Gevolgen voor ecosystemen?
- Tot voor kort: weinig bekend



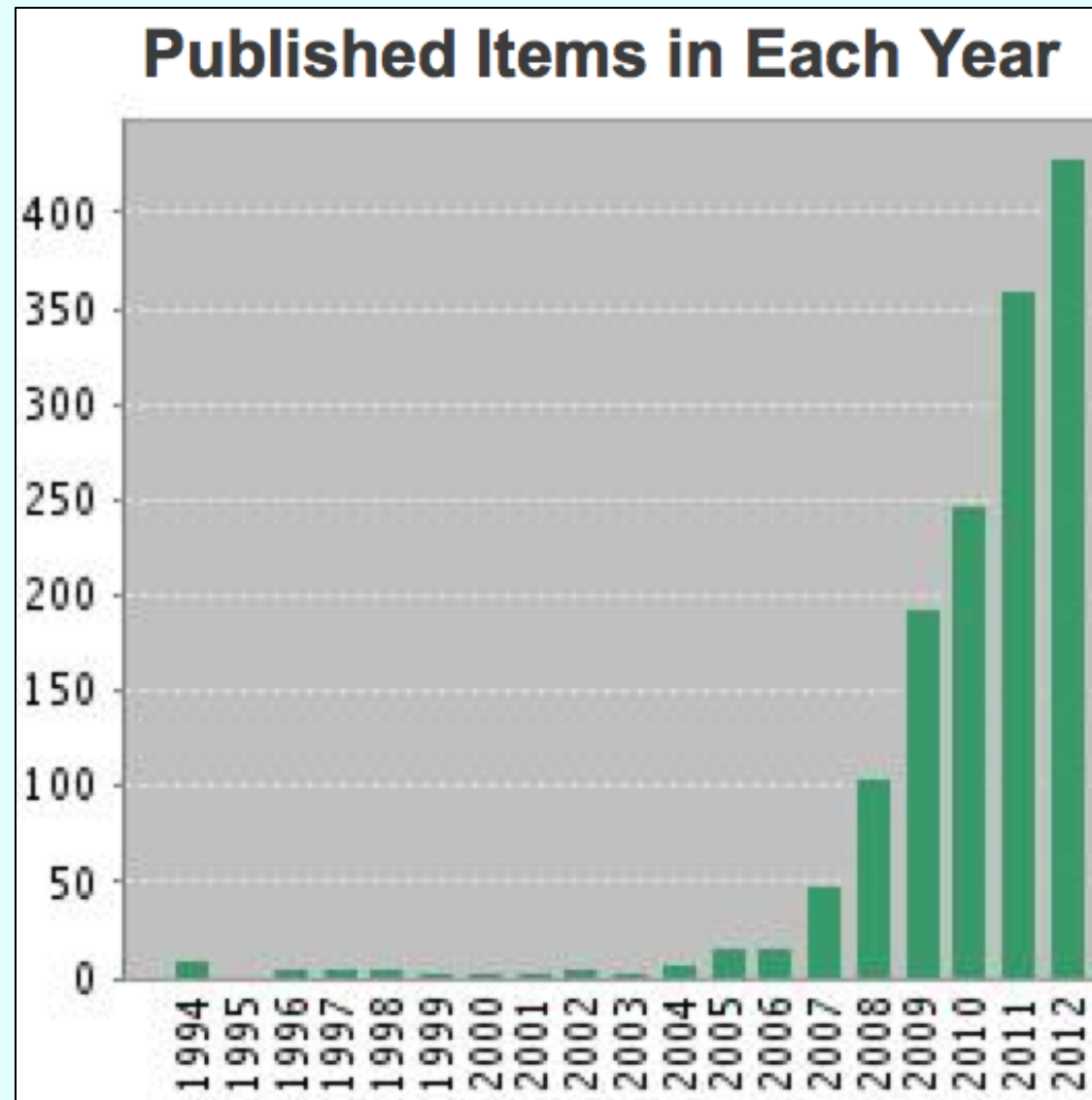
Biotic Response

Physiological response	Major group	Species studied	Response to increasing CO ₂			
			a	b	c	d
Calcification						
 Coccolithophores¹		4	2	1	1	1
 Planktonic Foraminifera		2	2	-	-	-
 Molluscs		4	4	-	-	-
 Echinoderms¹		3	2	1	-	-
 Tropical corals		11	11	-	-	-
 Coralline red algae		1	1	-	-	-
Photosynthesis²						
 Coccolithophores³		2	-	2	2	-
 Prokaryotes		2	-	-	1	-
 Seagrasses		5	-	-	-	-
Nitrogen Fixation						
 Cyanobacteria		1	-	1	-	-
Reproduction						
 Molluscs		4	4	-	-	-
 Echinoderms		1	1	-	-	-

1) Increased calcification had substantial physiological cost; 2) Strong interactive effects with nutrient and trace metal availability, light, and temperature; 3) Under nutrient replete conditions.

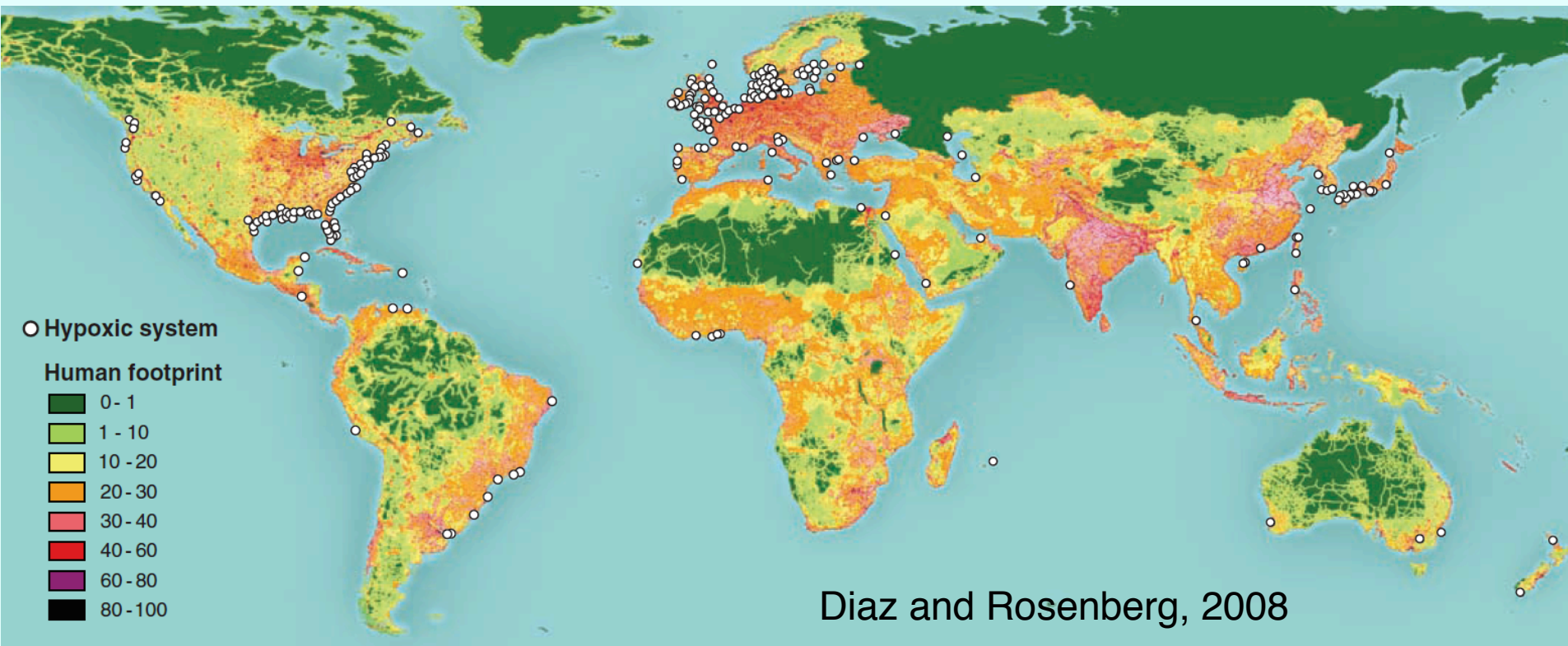


Ocean Acidification is booming



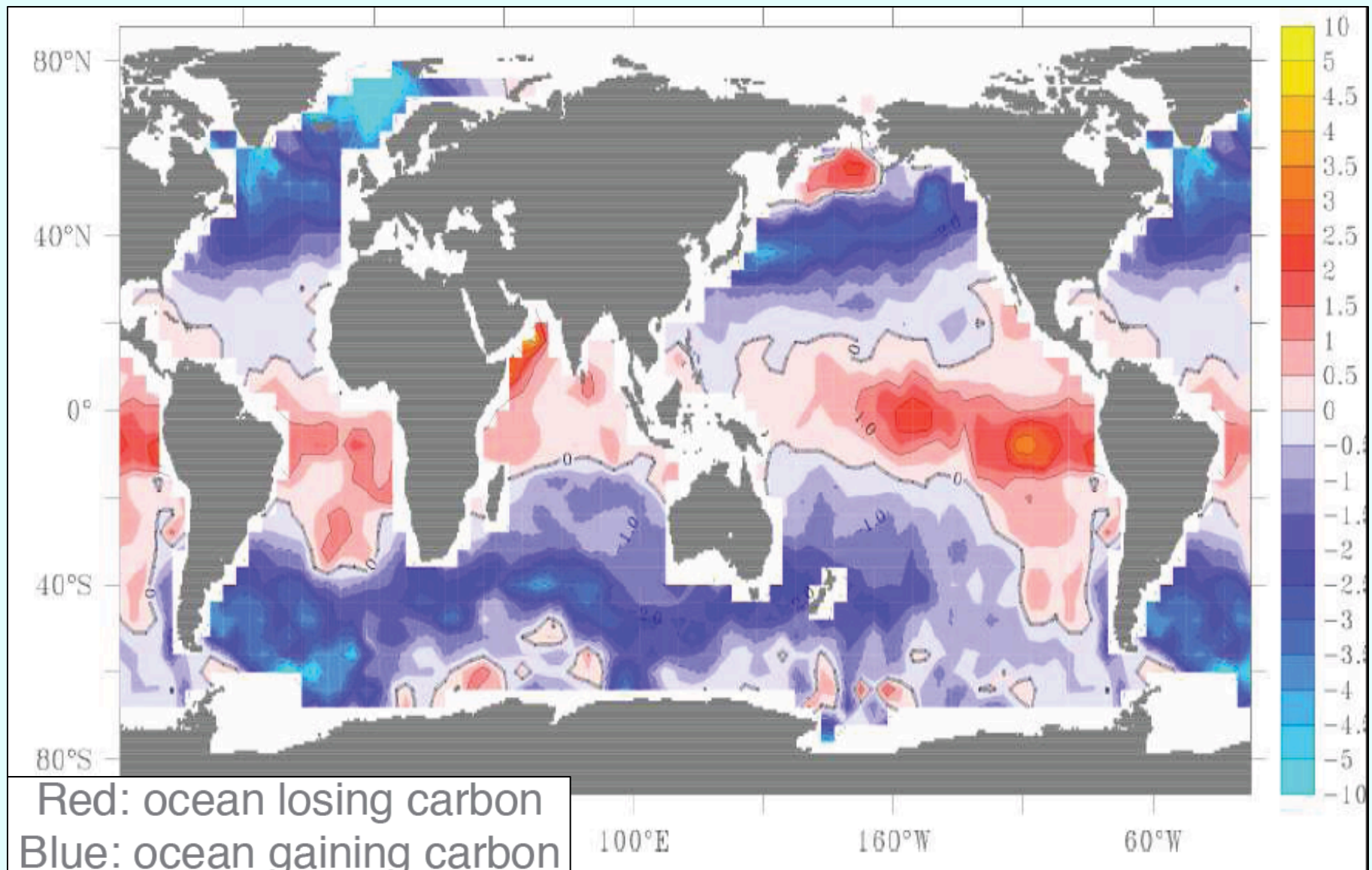
ISI papers and citations on Ocean Acidification

Toenemende “Dead zones” in kustzeeën: zuurstofgebrek, hypoxia en anoxia



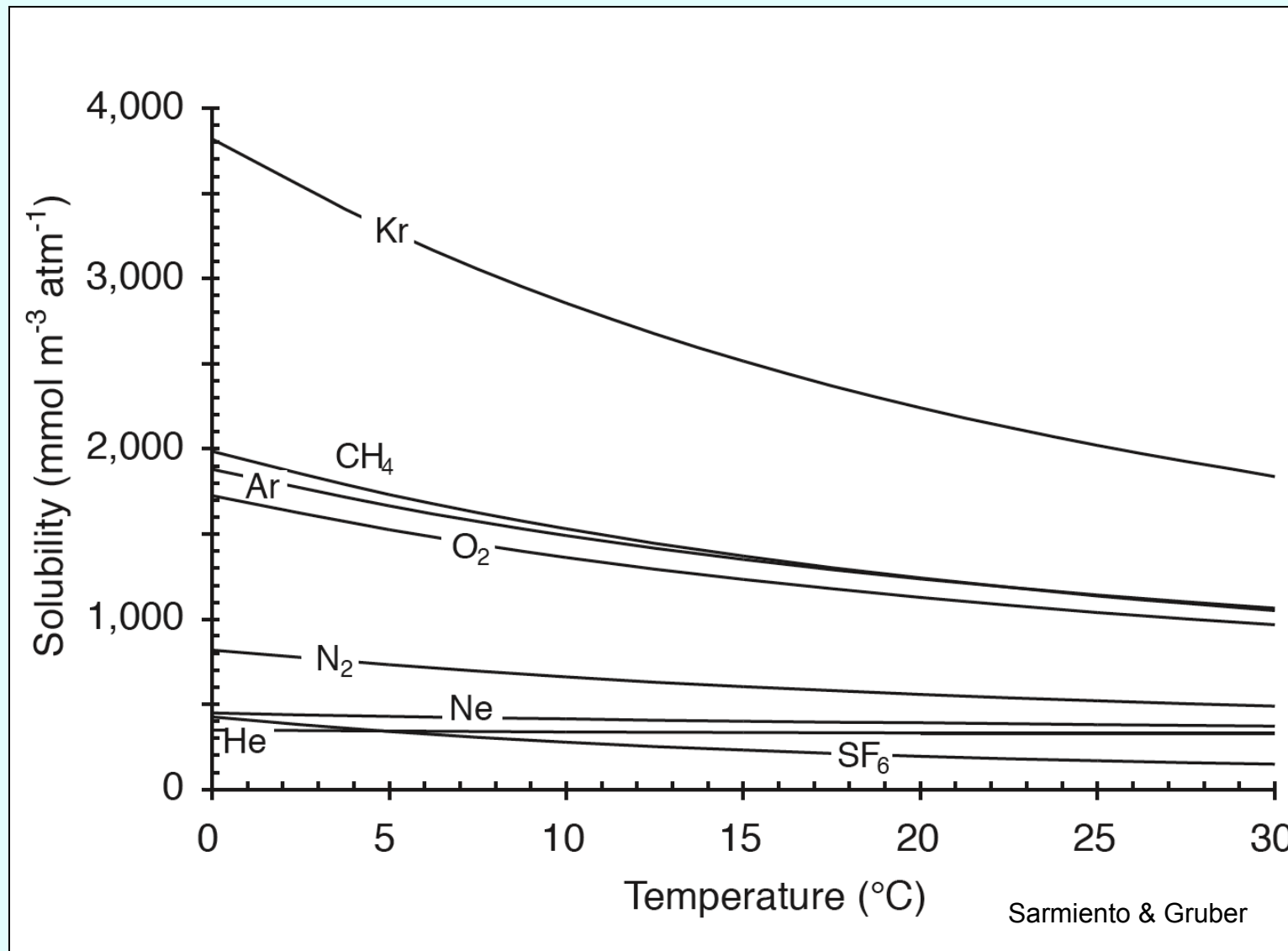


Gasuitwisseling atmosfeer - oceaan



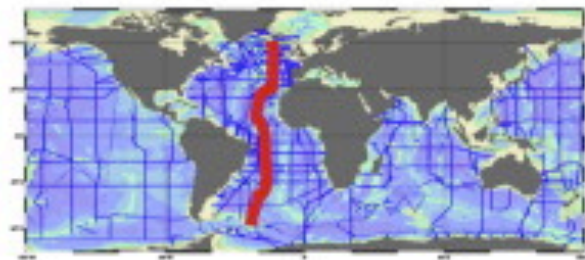
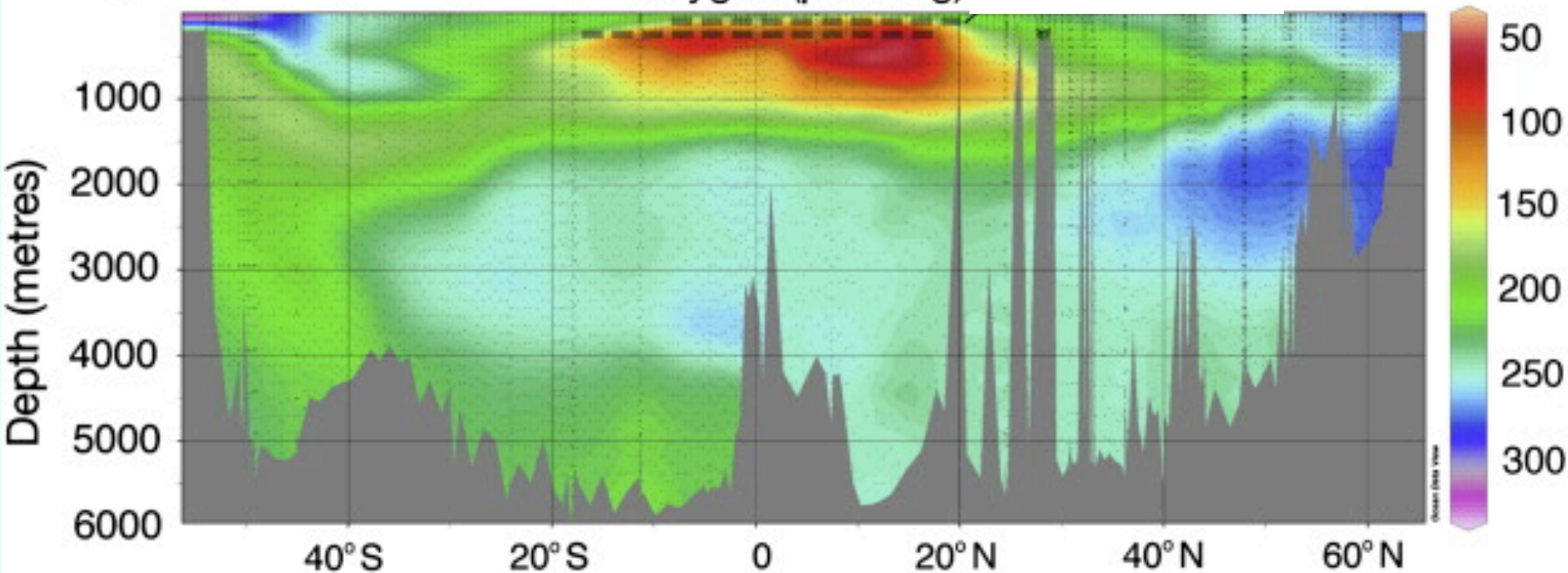


Gasoplosbaarheid en temperatuur

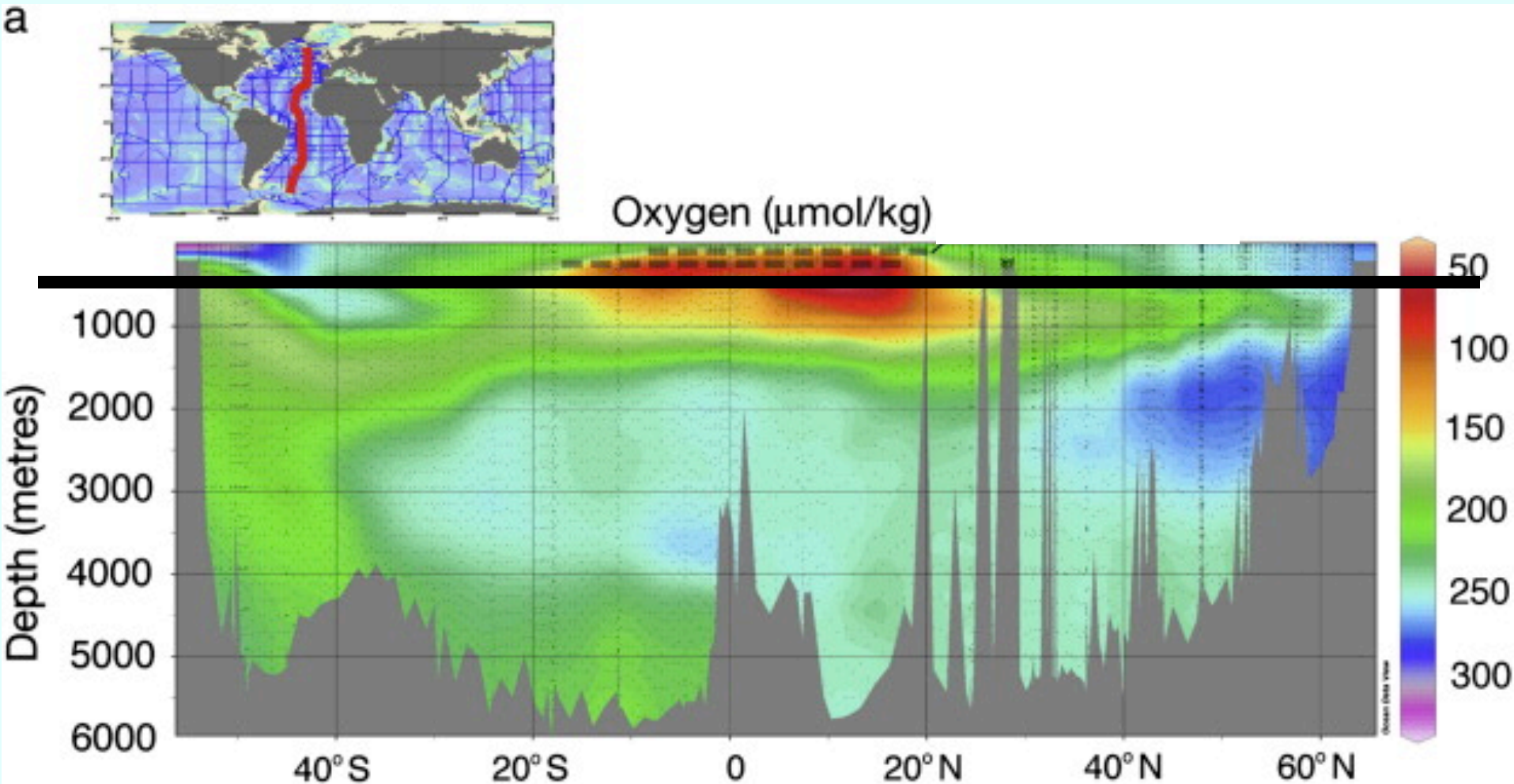


O₂ bron in de diepere oceaan: circulatie

a

Oxygen ($\mu\text{mol/kg}$)

Opwarming: minder uitwisseling diepe - oppervlakteoceaan:





Enhanced biological carbon consumption in a high CO₂ ocean

U. Riebesell¹, K. G. Schulz¹, R. G. J. Bellerby^{2,3}, M. Botros¹, P. Fritsche¹, M. Meyerhöfer¹, C. Neill², G. Nondal^{2,3}, A. Oschlies¹, J. Wohlers¹ & E. Zöllner¹

- Hogere CO₂
- C:N ratio neemt toe
- Meer C-fixatie per atoom N

In 2013 zinkt meer C naar diepzee dan in 1870

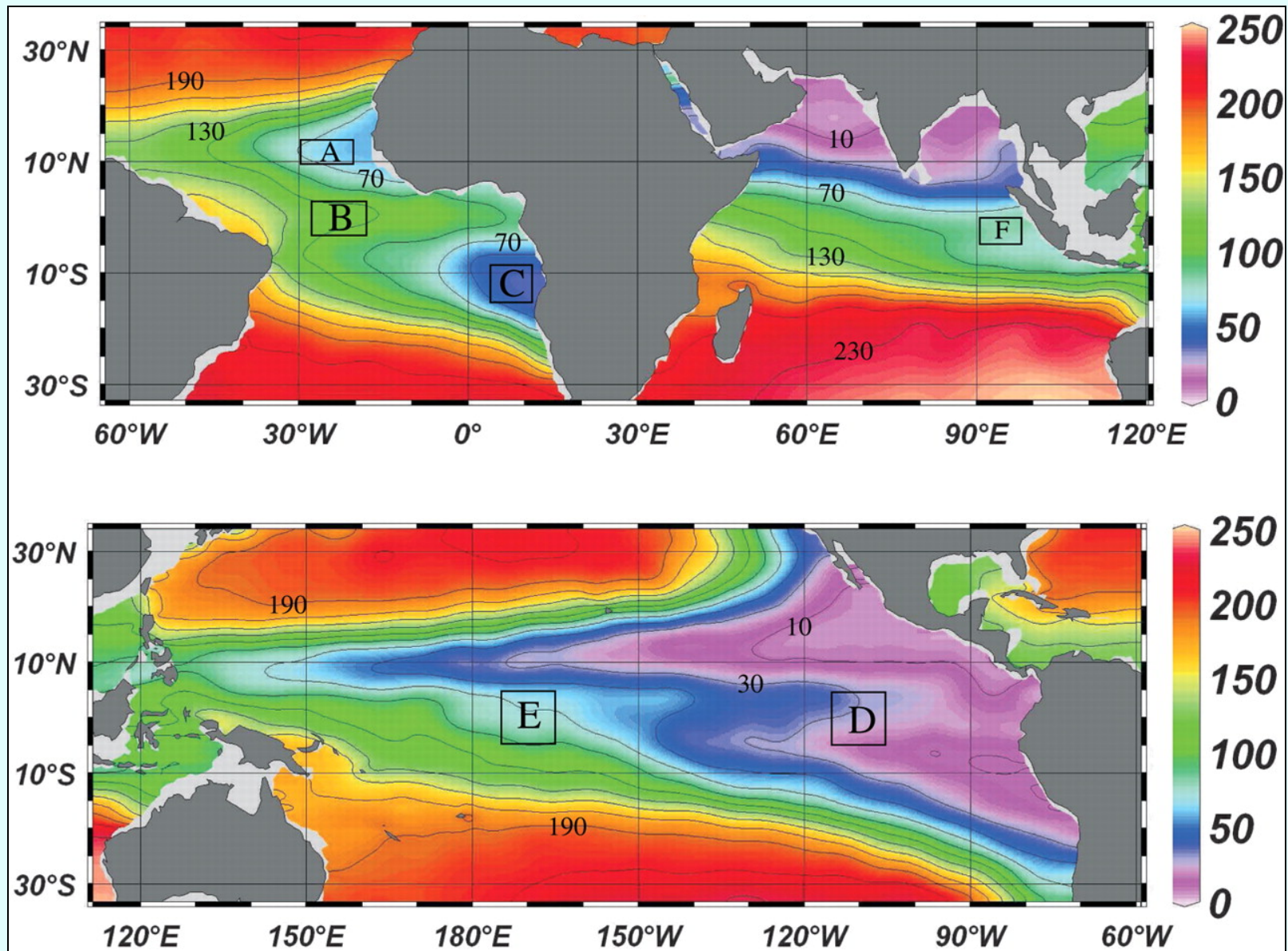
In 2100:

- Export increase by 30%
- 116 Pg more C sequestered
- Atmospheric CO₂ 58 ppm lower

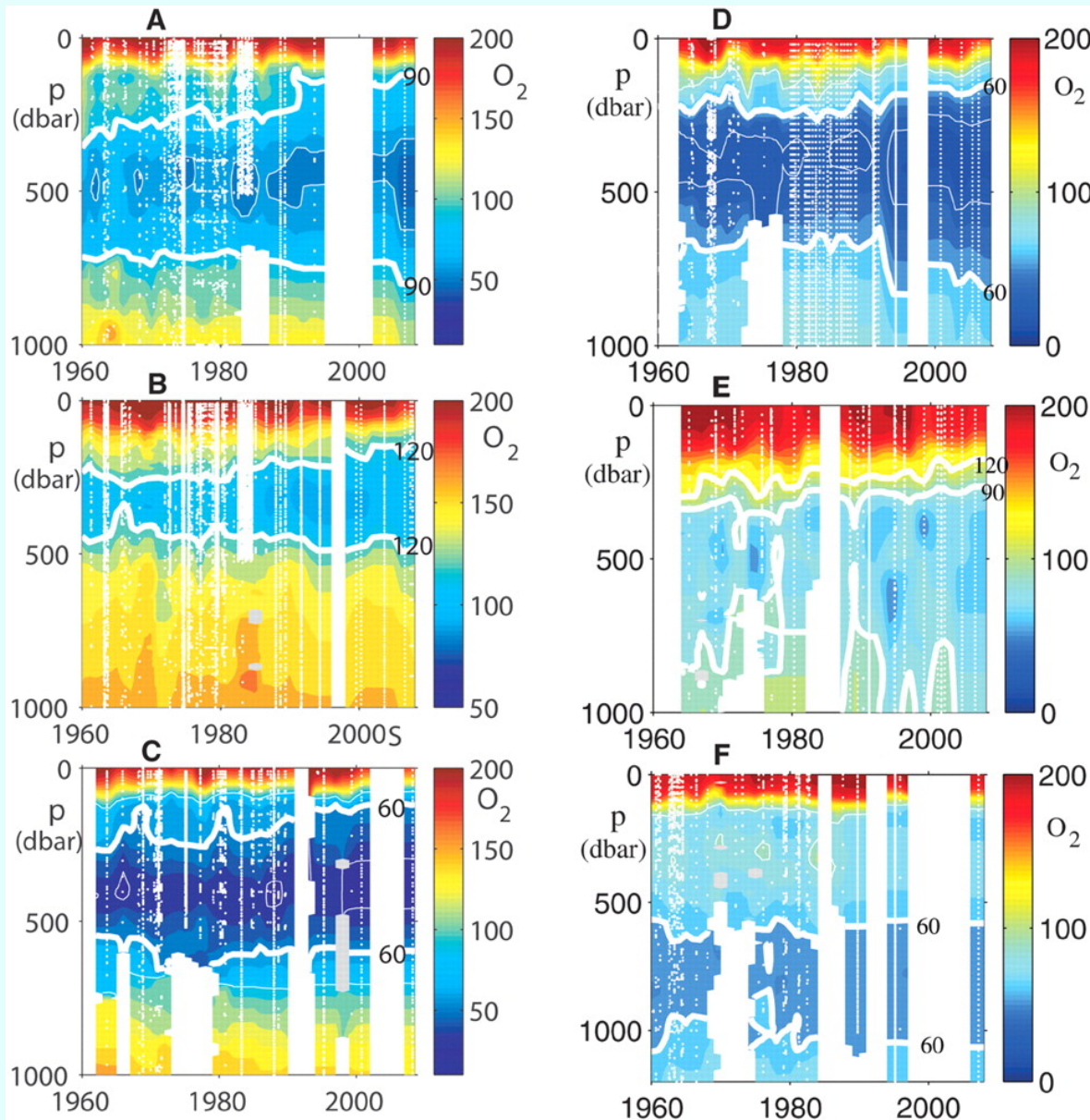
Maar diepzee O₂ consumptie (respiratie) neemt toe!



Observations @ 400 m



Observed Decreases



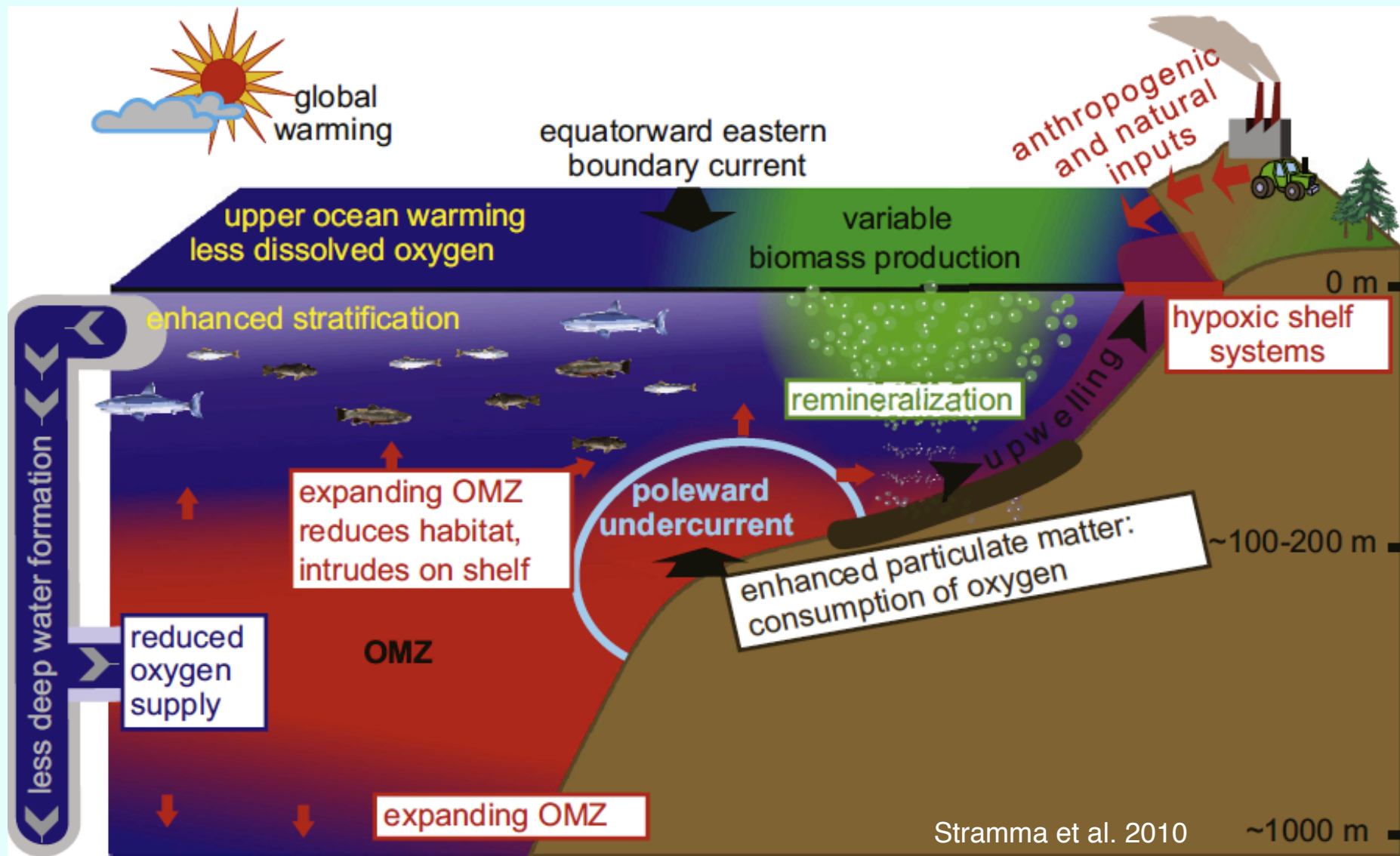
- The oxygen decrease in the 300- to 700-m layer is 0.09 to 0.34 μM per year.

- Reduced oxygen levels may have dramatic consequences for ecosystems and coastal economies.

Stramma et al. 2008

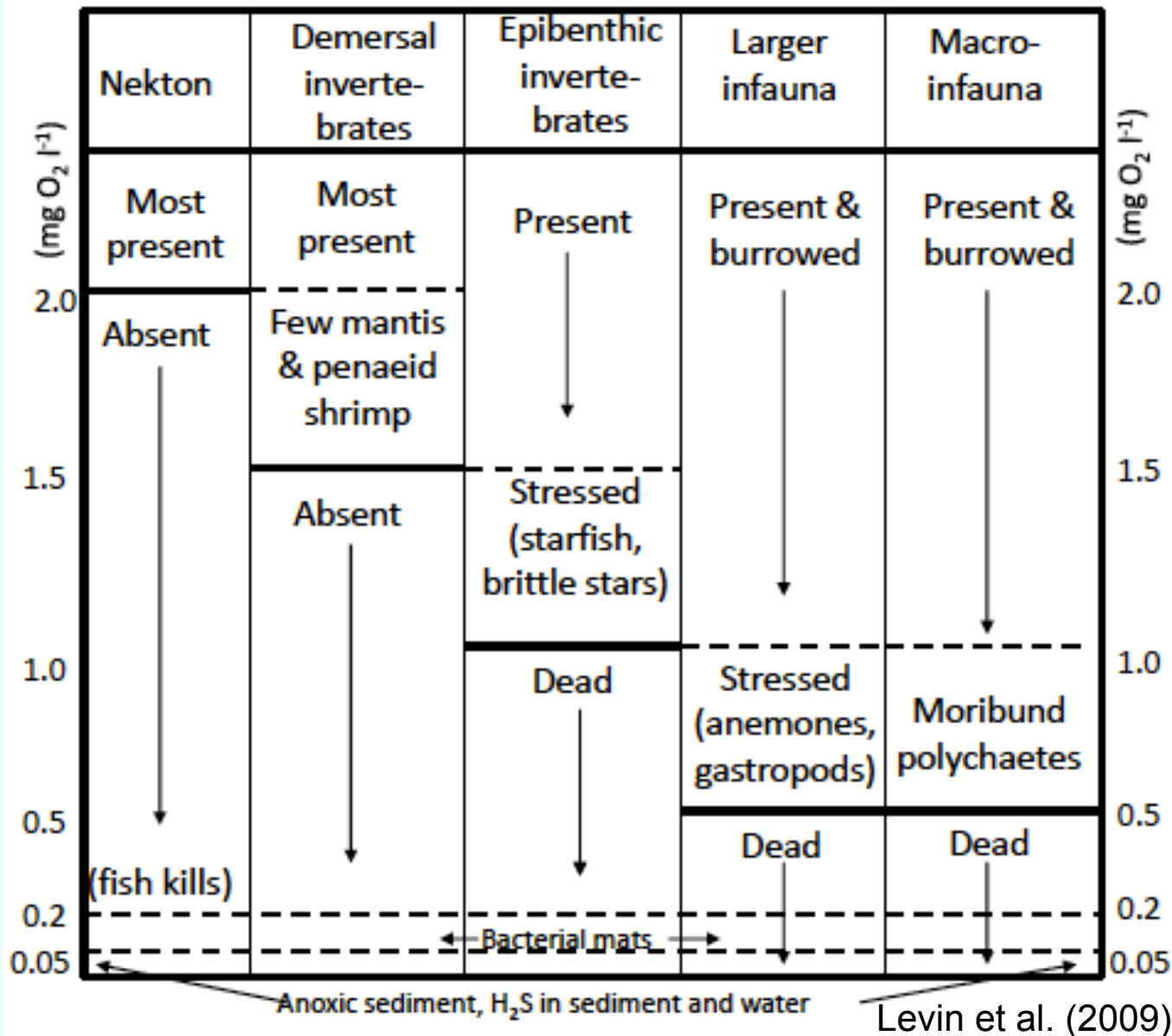


Low oxygen zones in the coastal and open ocean may meet





Marine fauna O₂ ecologie





Baltische Zee

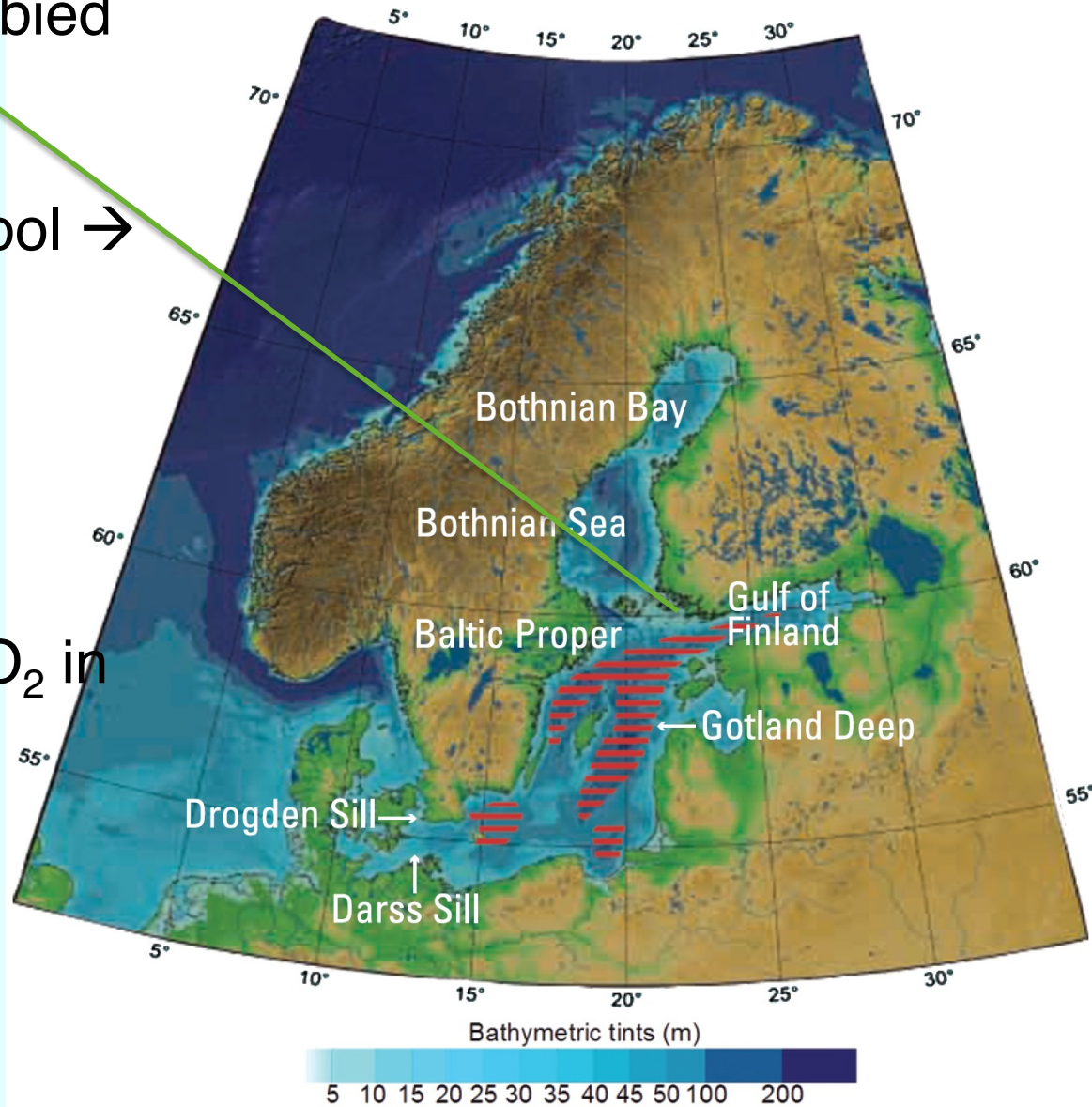
Maximaal (seizoenaal) gebied van lage O_2 concentraties

Oorzaak: kunstmest en riool → nutriënten

→ veel primaire productie

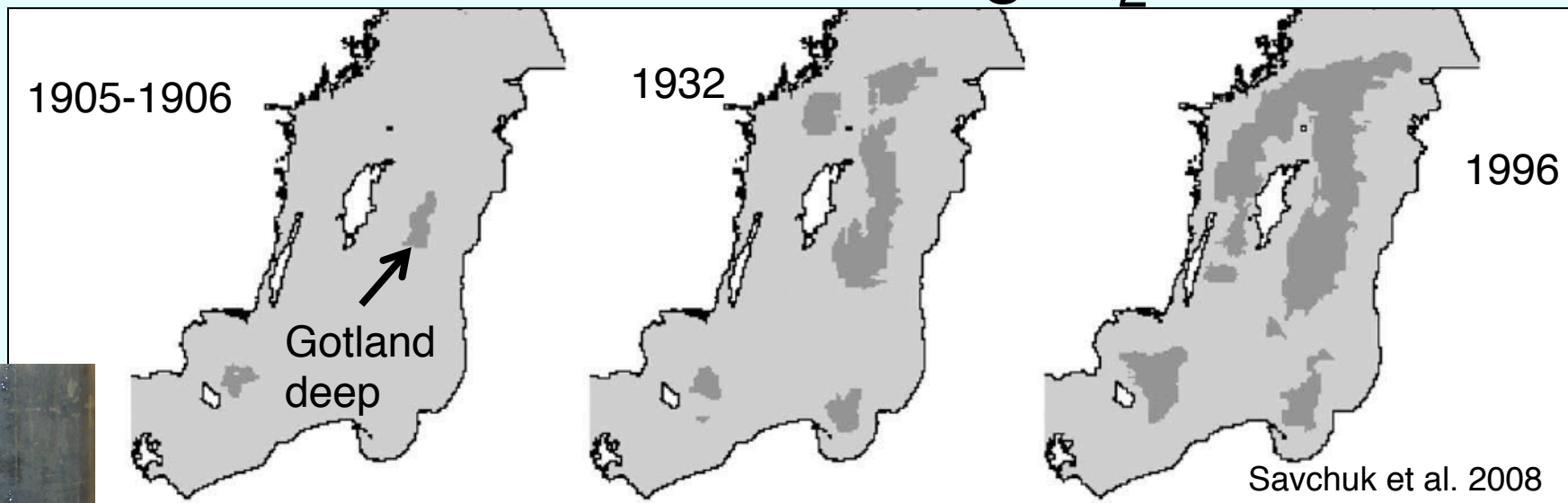
→ veel zinkend organisch materiaal

→ Veel afbraak organisch materiaal consumeert O_2 in dieper water





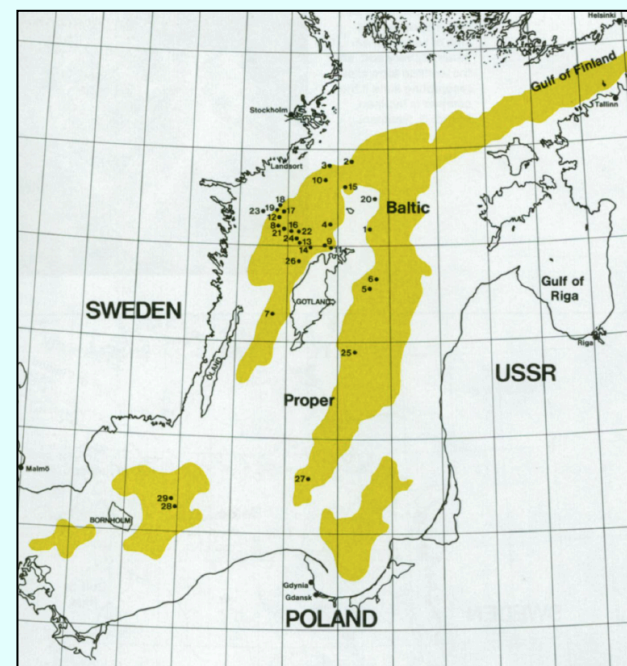
Recente toename van laag-O₂ wateren



Weinig bodemleven:
Gelamineerde, organisch-rijke
sedimenten

Jonsson et al. 1990

Gotland basin





Wat zijn de gevolgen voor biologie?

- O_2 is nodig voor alle meercelligen en bijna alle eencelligen
- Specialisten gaan het goed doen maar verwachting is meer en grotere dead zones
- Impact voor visserij
- Biogeochemische feedbacks: → effect op nutrientencyclus → trend is moeilijk om te buigen



Oftewel

- **De Biologie in de Oceaan van de Toekomst**
 - Hoge Temperatuur
 - Lage concentratie O_2
 - Hoge concentratie CO_2
- De oceaan uit het verleden als imperfecte analoog voor de toekomst



Oftewel

- De Biologie in de Oceaan van de Toekomst
 - Hoge Temperatuur
 - Lage concentratie O₂
 - Hoge concentratie CO₂
- **De oceaan uit het verleden als imperfecte analoog voor de toekomst**



Paleo-oceanografie

Methode: bestuderen van sedimenten



'Mountain', Sigurdur Gudmundsson



Oceanen uit het verleden als imperfecte analogen

Cons

- Tijdschalen nooit biologisch
- Fossiele archief incompleet
- Grip op evolutie beperkt



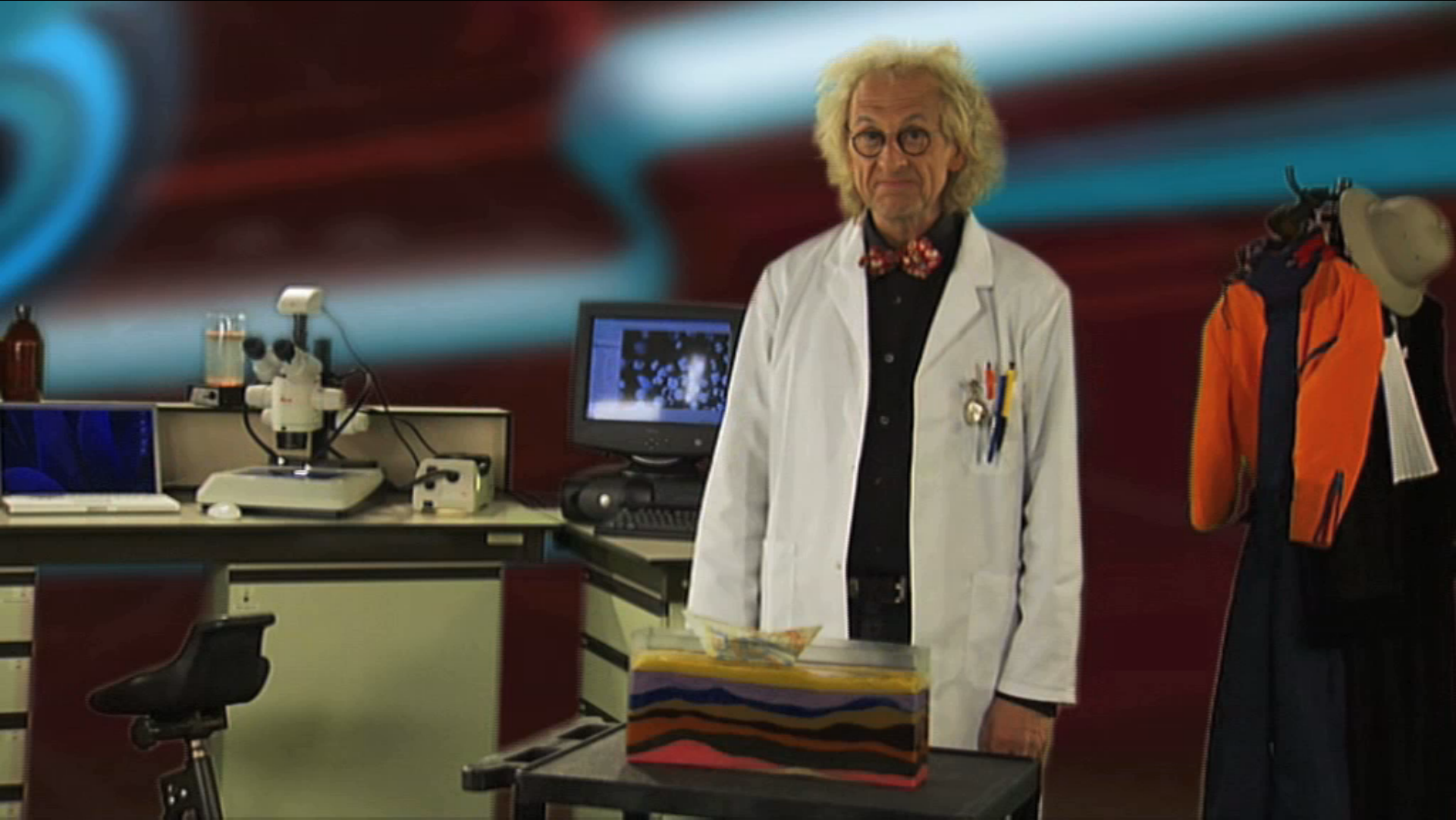
Oceanen uit het verleden als imperfecte analogen

Cons

- Tijdschalen nooit biologisch
- Fossiele archief incompleet
- Grip op evolutie beperkt

Pros

- Het is al gebeurd!
- Tijdschalen nooit biologisch
- Identificeren van known unknowns (ecologie)
- Lange-termijn visie
- Mechanismen en tijdschalen van herstel





Integrated Ocean Drilling Program

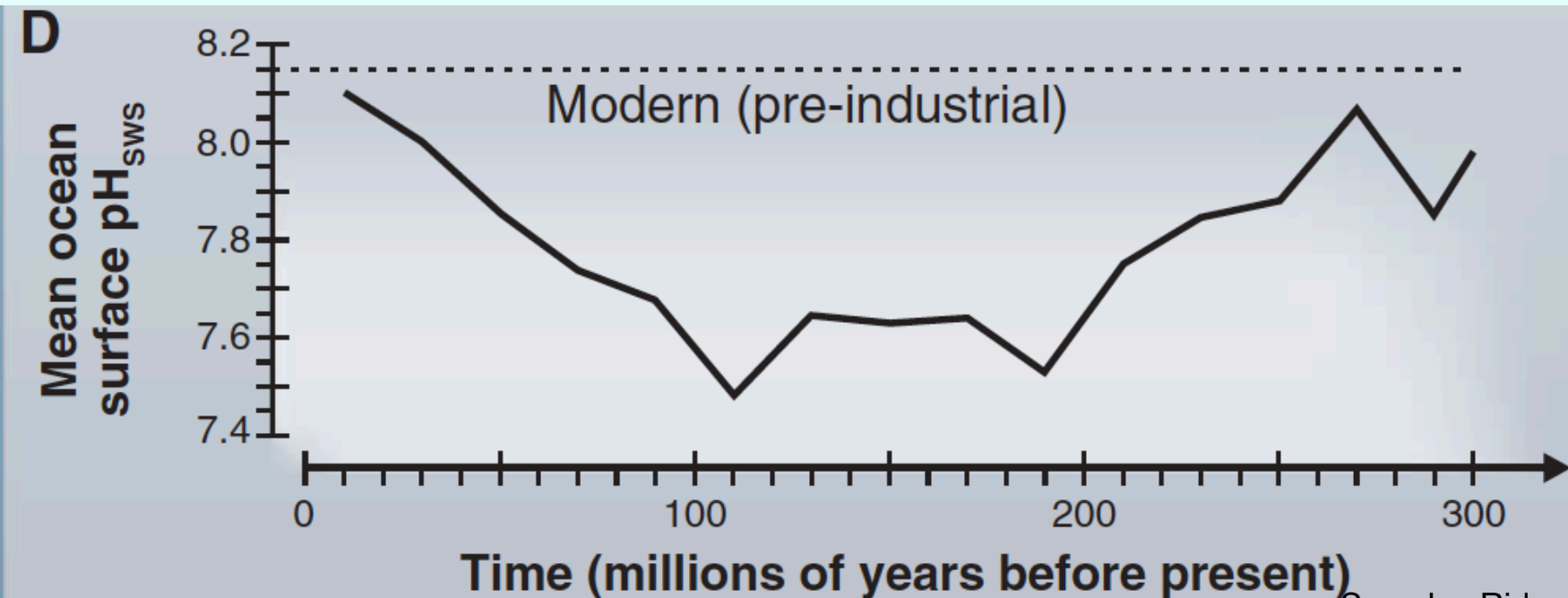


Photo, William Crawford / IODP



The Geological Record of Ocean Acidification

Bärbel Hönisch,^{1*} Andy Ridgwell,² Daniela N. Schmidt,³ Ellen Thomas,^{4,5} Samantha J. Gibbs,⁶ Appy Sluijs,⁷ Richard Zeebe,⁸ Lee Kump,⁹ Rowan C. Martindale,¹⁰ Sarah E. Greene,^{2,10} Wolfgang Kiessling,¹¹ Justin Ries,¹² James C. Zachos,¹³ Dana L. Royer,⁵ Stephen Barker,¹⁴ Thomas M. Marchitto Jr.,¹⁵ Ryan Moyer,¹⁶ Carles Pelejero,¹⁷ Patrizia Ziveri,^{18,19} Gavin L. Foster,⁶ Branwen Williams²⁰



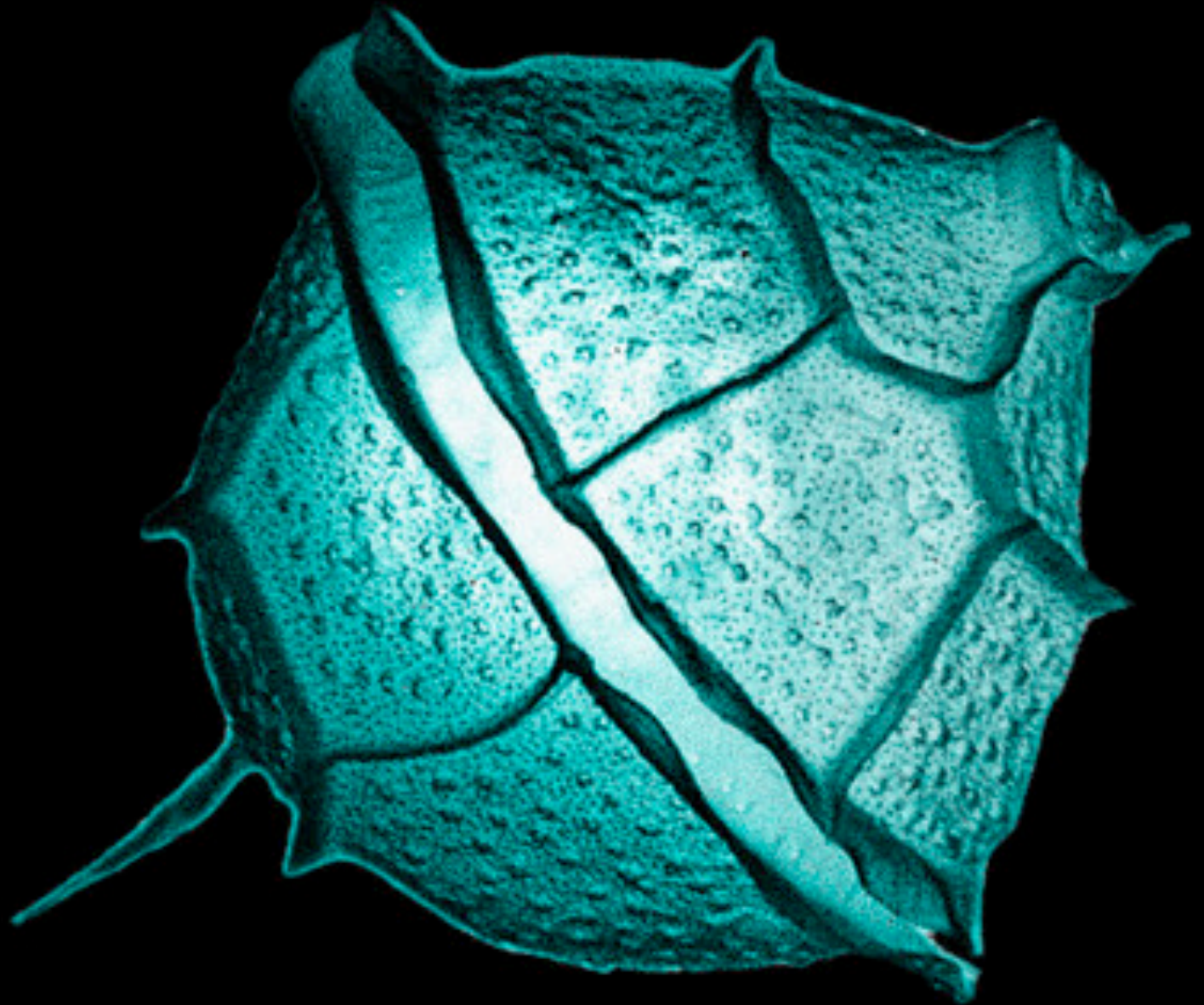


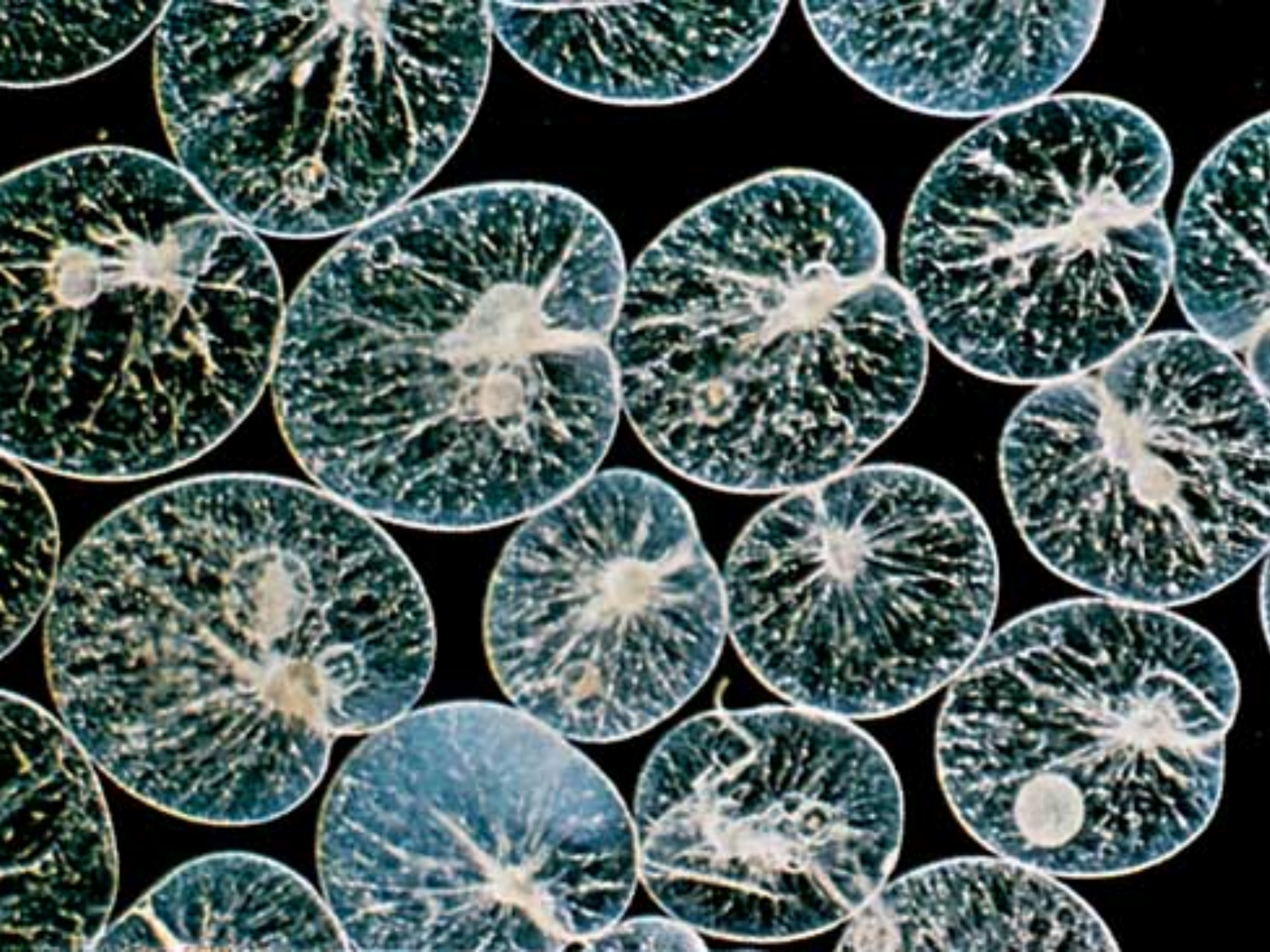
De Held van het hitterecord; 55 M-jaar geleden

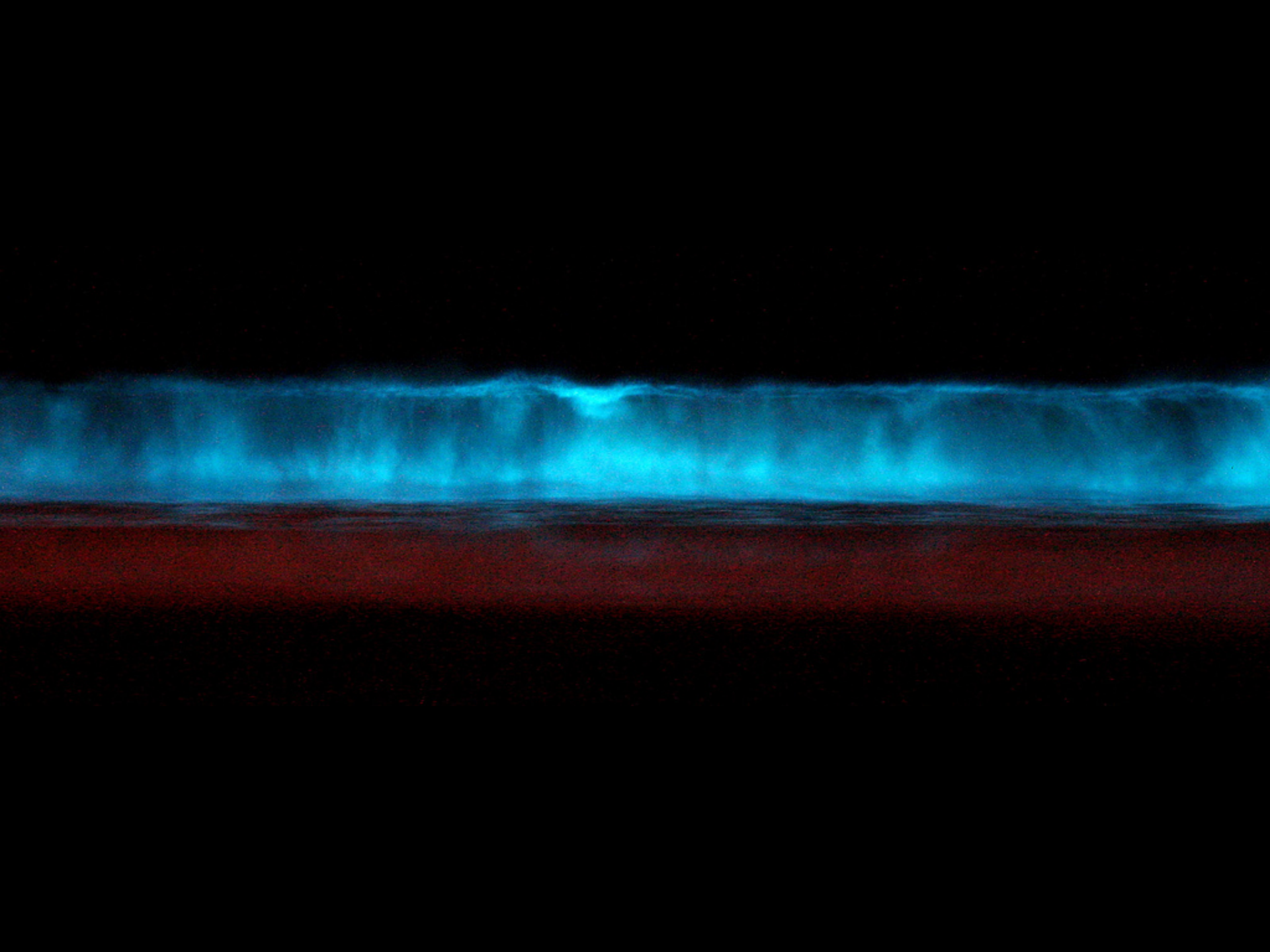


Dinoflagellaat *Apectodinium augustum*

Dinoflagellaten







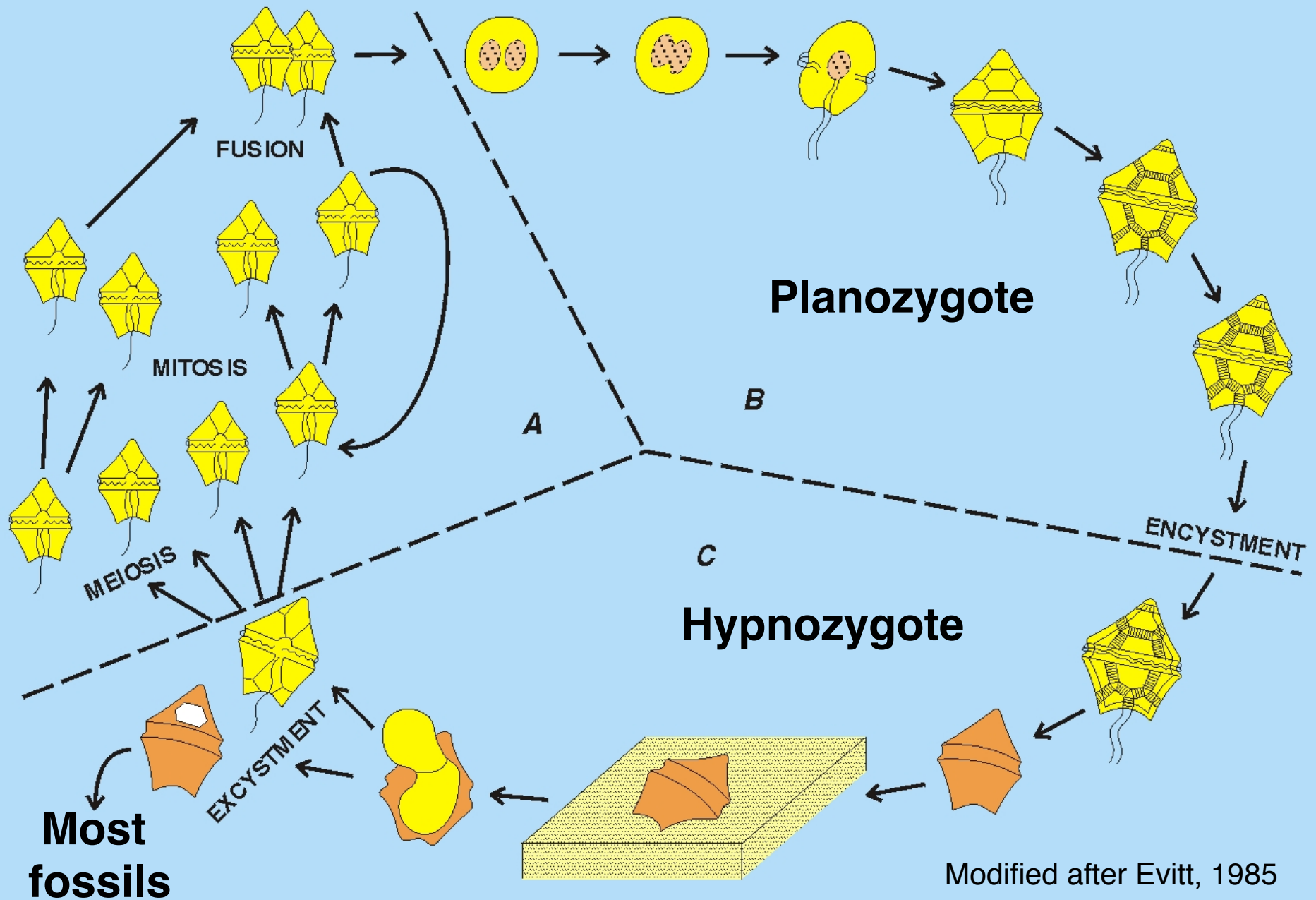


Heterotrophic Dinoflagellates



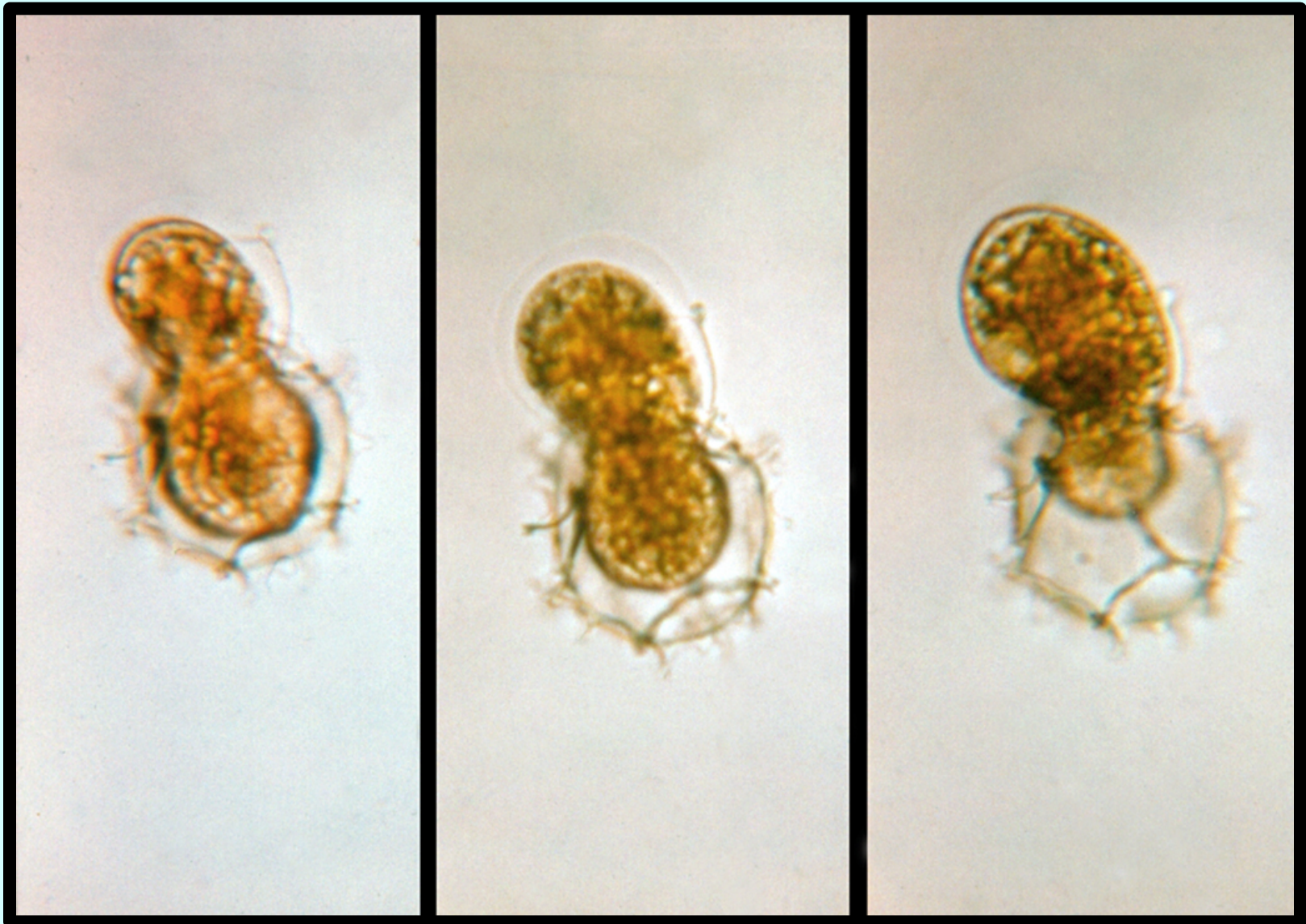
By Howie Spero (UC Davis) and Jian Sheng (UM, Minnesota)



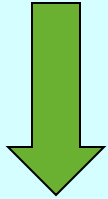




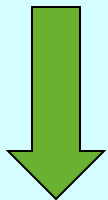
Excystment of *Gonyaulax*



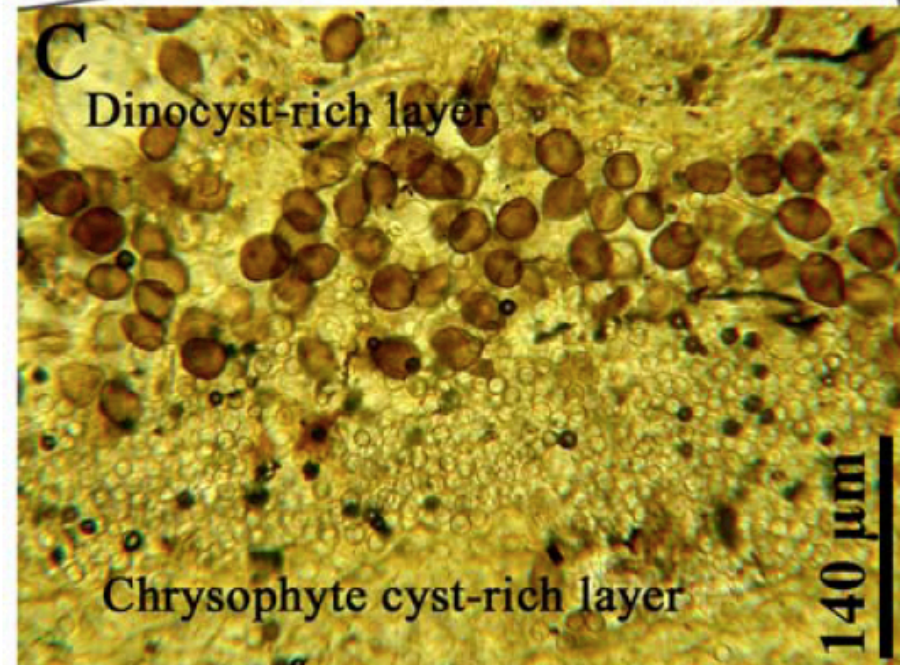
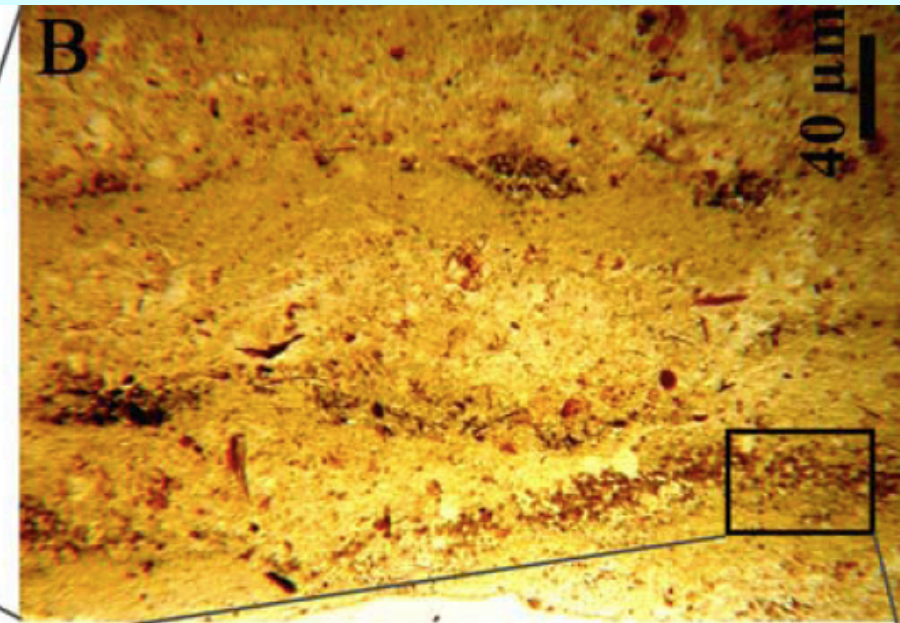
Dinoflagellates
in sediments



Palynological
Processing



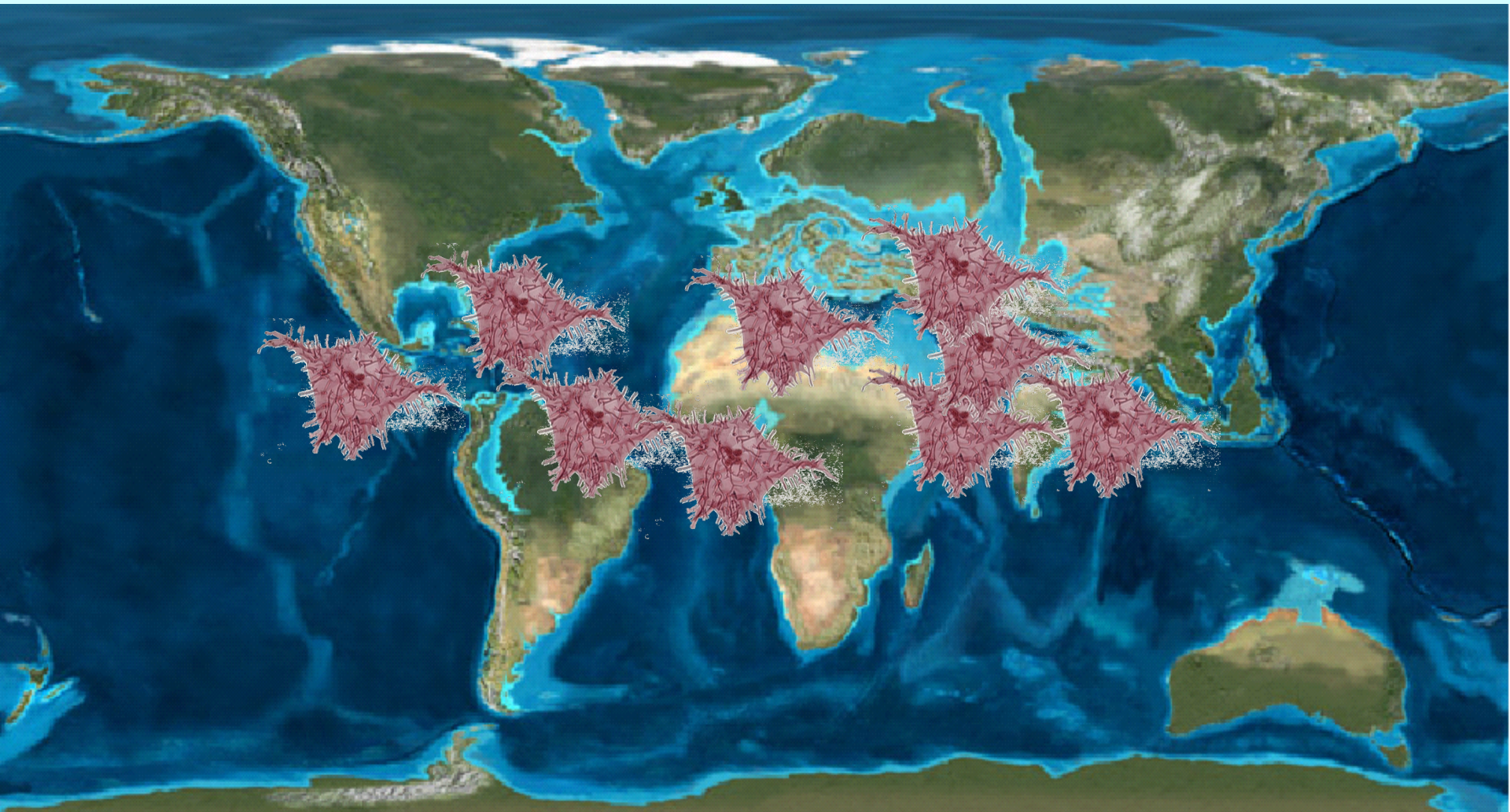
Paleontology







Biogeografie dinoflagellaat *Apectodinium* voor hitterecond

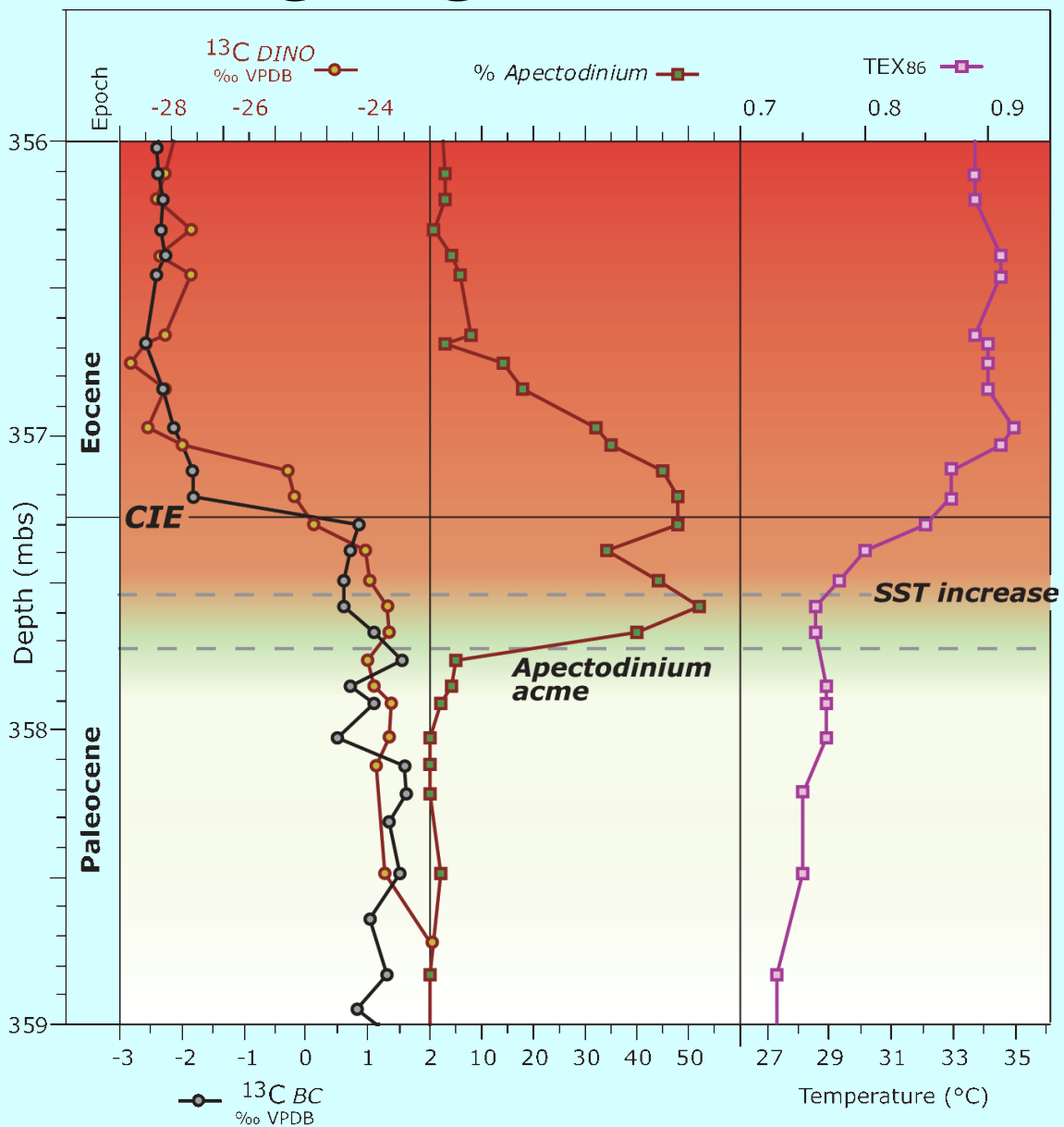
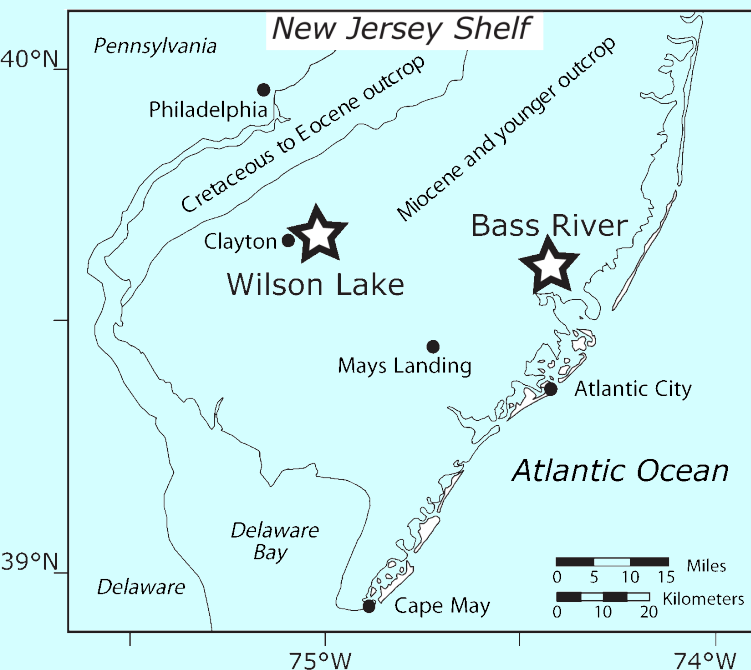




Sluijs et al. 2006, Nature

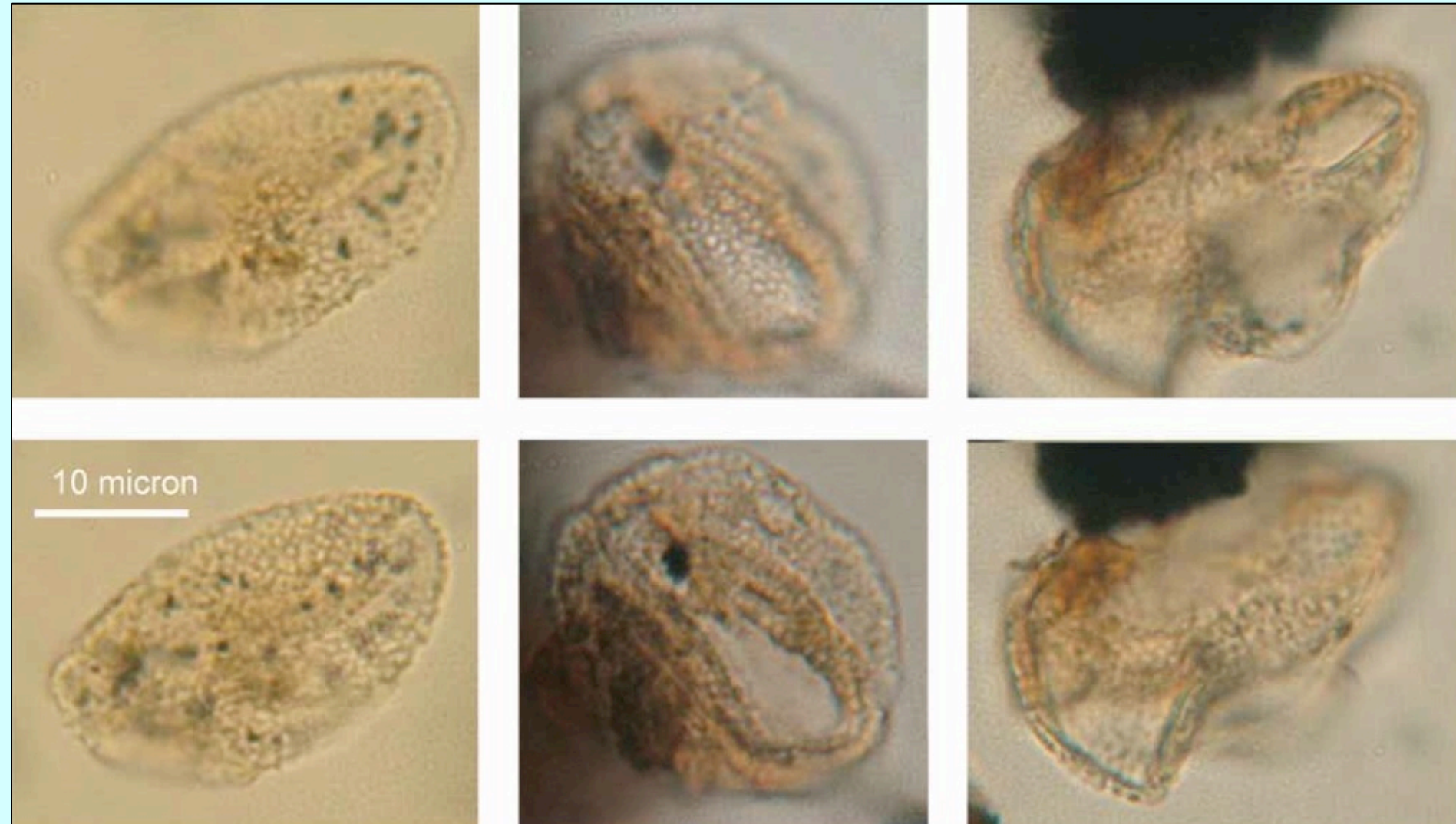


Early Warning Signal!

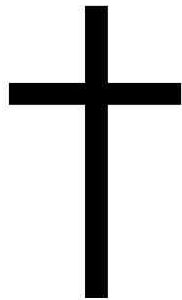




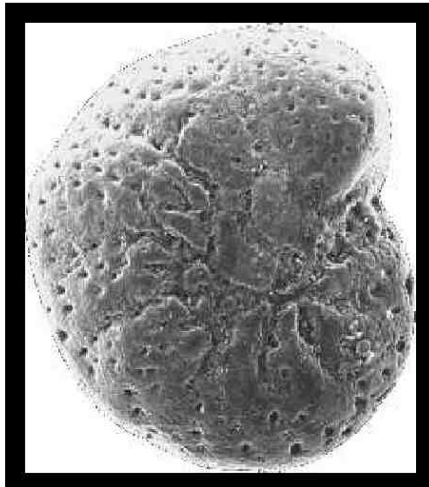
Fossiele Stuifmeelkorrels



***Arecipites microreticulatus*: Arecaceae (palms)**

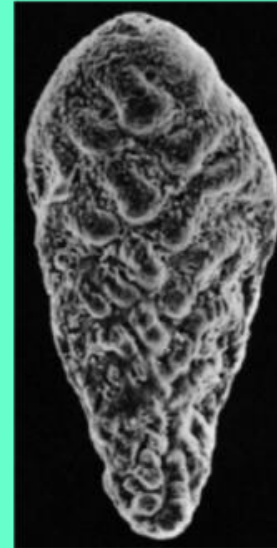


R.I.P

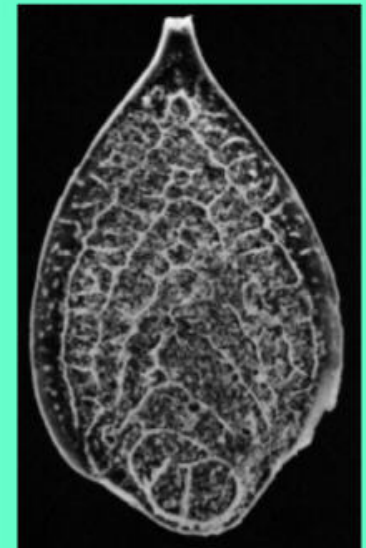


At 55.5 Ma, *Gavelinella beccariiformis* (age 20 m.y.) became extinct unexpectedly.

Benthic foraminiferal extinctions during the LPTM



Bolivinooides delicatulus



Neoflabellina semireticulata

(.....amongst many others.....)

Groot uitsterven van een groep zeebodem-eencelligen

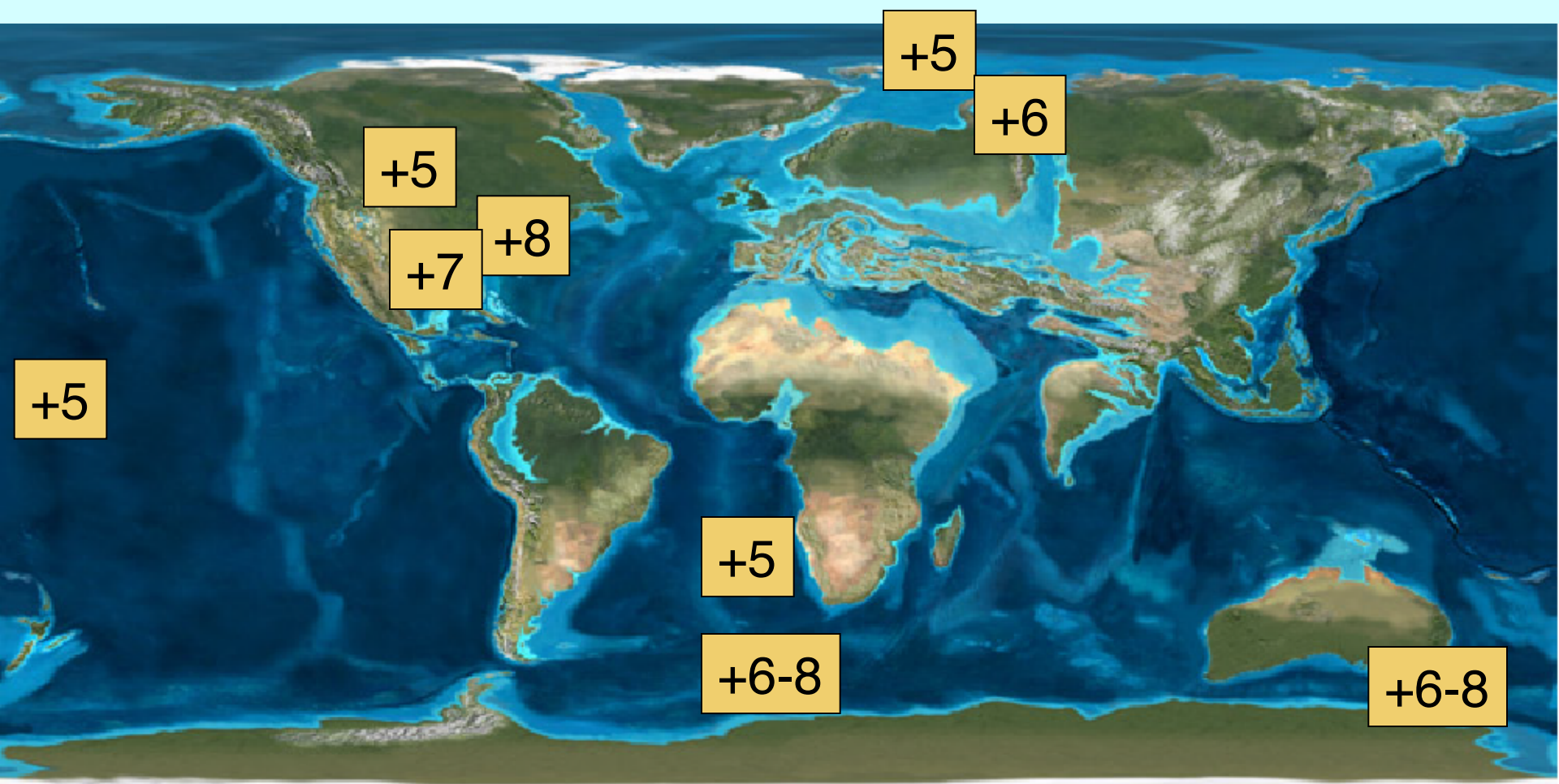
Credits Rob Speijer; Leuven Univ.

Zoogdier evolutie tijdens hitterecord





Hitterecord: *Global Warming*



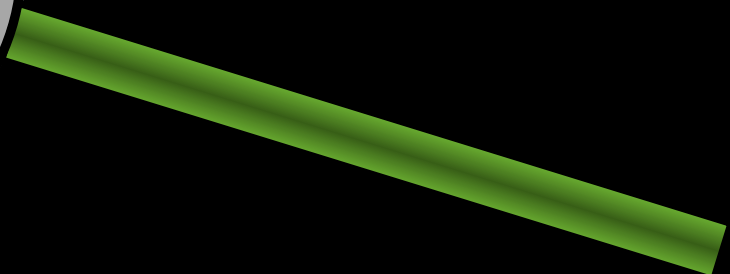
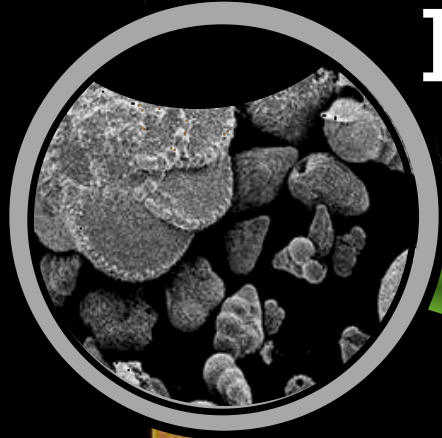
Hitterecord

55 M-jaar geleden

~100.000 jaar

Verzuring

1000-2000 jaar





Hitterecord: Zuurstofgebrek

(plaatje is ongepubliceerde data)



Grote vragen voor het hittesterecord:

De Biologie onderging grote veranderingen

maar...

Hoe sterk veranderde de biologie door

- Hoge Temperatuur
- Lage concentratie O_2
- Hoge concentratie CO_2



www.expeditiebroeikaswereld.nl

Interdisciplinaire Onderwijsplugin

(Bio, NLT, ANW, Aard, Na, Sk) over:

- Broeikaseffect
 - Tijdschalen
 - Koolstofcyclus
- Paleo-ecologisch onderzoek

Inclusief practica en docentenhandleiding -hulp



www.DeJongeAkademie.nl

Moendoes



De Jonge Akademie

- “De Jonge Akademie is een dynamisch en innovatief platform van jonge topwetenschappers met visie op wetenschap en wetenschapsbeleid.”
- onderdeel van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen
- 50 leden, 5 jaar lidmaatschap, 10 jaarlijks erin en eruit, voordracht door rectoren e.a.
- activiteiten en doelgroepen: *interdisciplinariteit, wetenschapsbeleid, wetenschap en maatschappij*

Wetenschapsspel Moendoes

Team wetenschappers (allerlei vakgebieden)
zoekt naar woonbare planeet

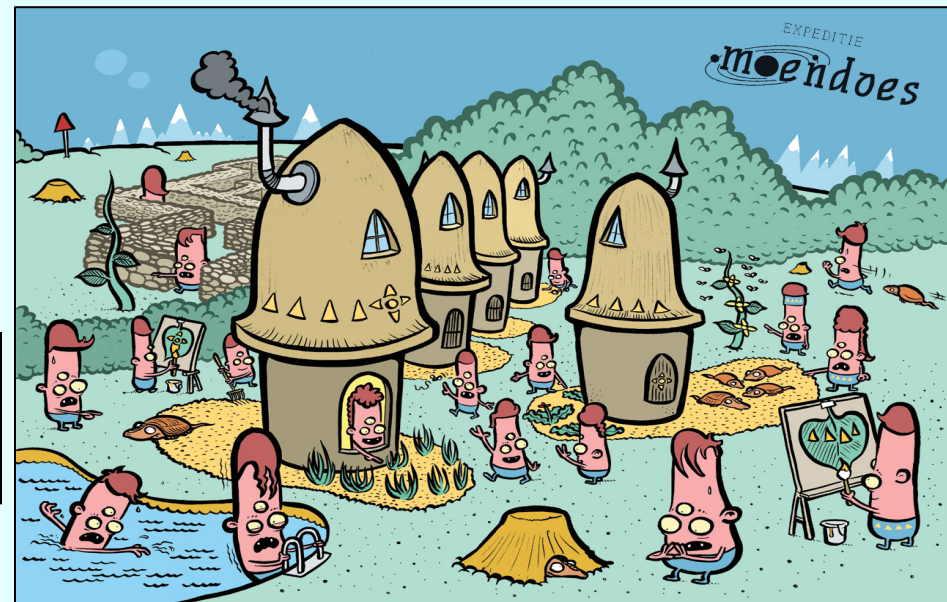
Vindt planeet met intelligent leven: *Moendoes*

→ onderzoek: zwaartekracht? Seizoenen?

Lokale dieren? Taal van bewoners? Wat zijn
die gele driehoekjes?



De Praktijk
natuurwetenschappelijk onderwijs



Wetenschapspel Moendoes

Aspecten van het spel: wetenschap in actie

- nieuwsgierigheid en creativiteit
- logisch redeneren, experimenteel denken
- belangen voor de samenleving
- plezier, samenwerking en kennis/inzicht delen
maar ook competitie

1. laka-wom
2. blof-wom*
3. blof-wom**
4. noeki-wom

EXPEDITIE
moendoes



5. ara deffe deffe
6. ara blof
7. ara ip
8. ara ewa ewa
9. ara noeki

Wetenschapsspel Moendoes

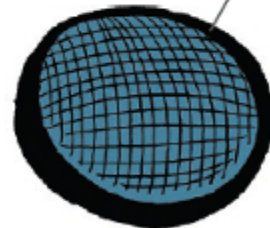
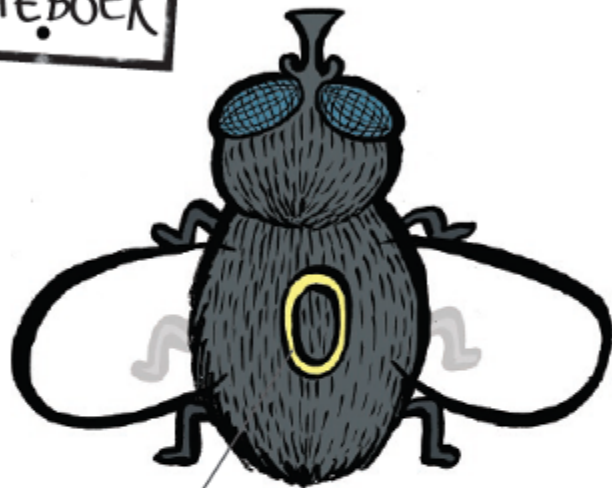
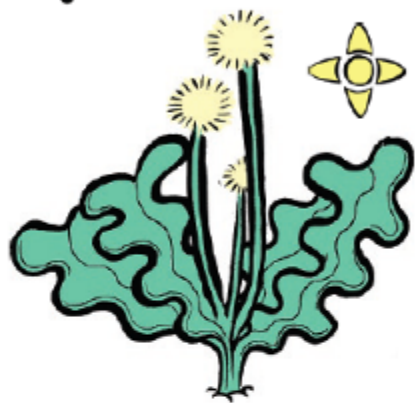
Spelverloop

- In een lesuur te spelen
- kaartjes met onderzoeksvragen, bronnen met informatie op drie niveau' s
- beantwoorde vragen publiceren, publicaties zijn nieuwe bronnen
- meeste publicaties wint, punten delen bij samenwerking

1 << >

EXPEDITIE
moendoes
PAGINA UIT
BIOLOGIEBOEK

2 || 2 =



42

36

117

140

60

75

Moendianen hebben zes vingers, drie aan iedere hand. Je vraagt je af of dat terug te zien is in de taal en cultuur van de Moendianen. Waar heeft 'het hebben van zes vingers' waarschijnlijk invloed op gehad?





Wetenschapsknooppunten

Missie: wetenschap en basisonderwijs verbinden

Werken samen met

- Basisscholen
- Pabo's
- Universiteitsmusea
- faculteiten om.

Resultaat:

- Stimulatie talentontwikkeling basisonderwijs
- wetenschappelijk onderzoek toegankelijker voor basisonderwijs
- wetenschapscommunicatie gericht op het basisonderwijs