



Universiteit
Utrecht



EMBRACER

Earth System Feedback Research Centre

De analytisch-chemische gereedschapskist voor nobele reconstructies van klimaatveranderingen in het verleden

Appy Sluijs

Department Aardwetenschappen, Universiteit Utrecht

Ga naar Wooclap.com, code OCKFOQ

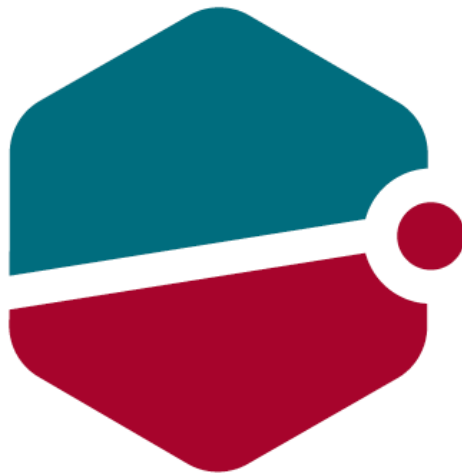


Wat is hier Nobel aan?



Toekomst van Oceanen en het Klimaat

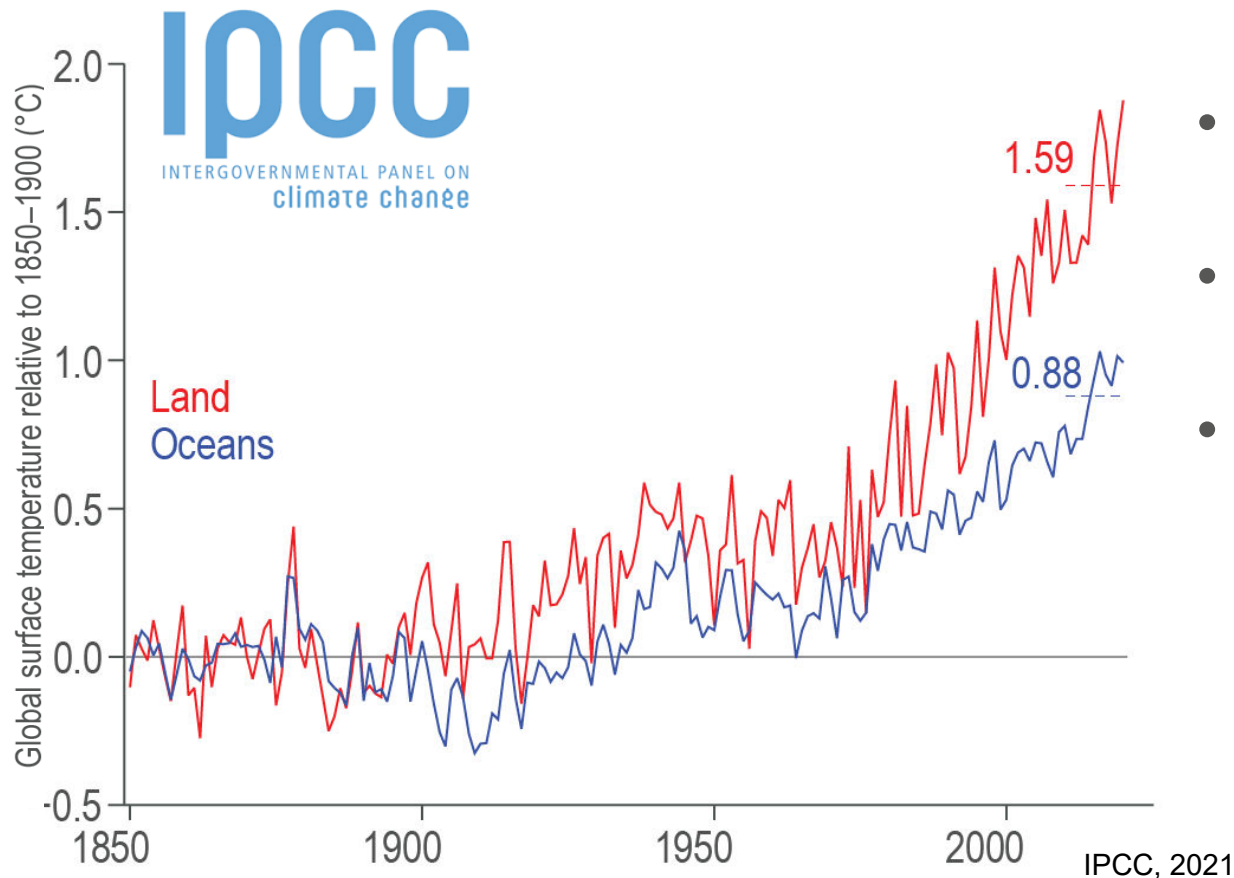
- **W**arming
- **A**cidification
- **A**noxia
- **W**at gebeurde er in het geologische verleden?
- **M**ogelijkheden voor in de klas



TIP **PING** **G**
P **O** **I** **N** **T**
A **H** **E** **A** **D**



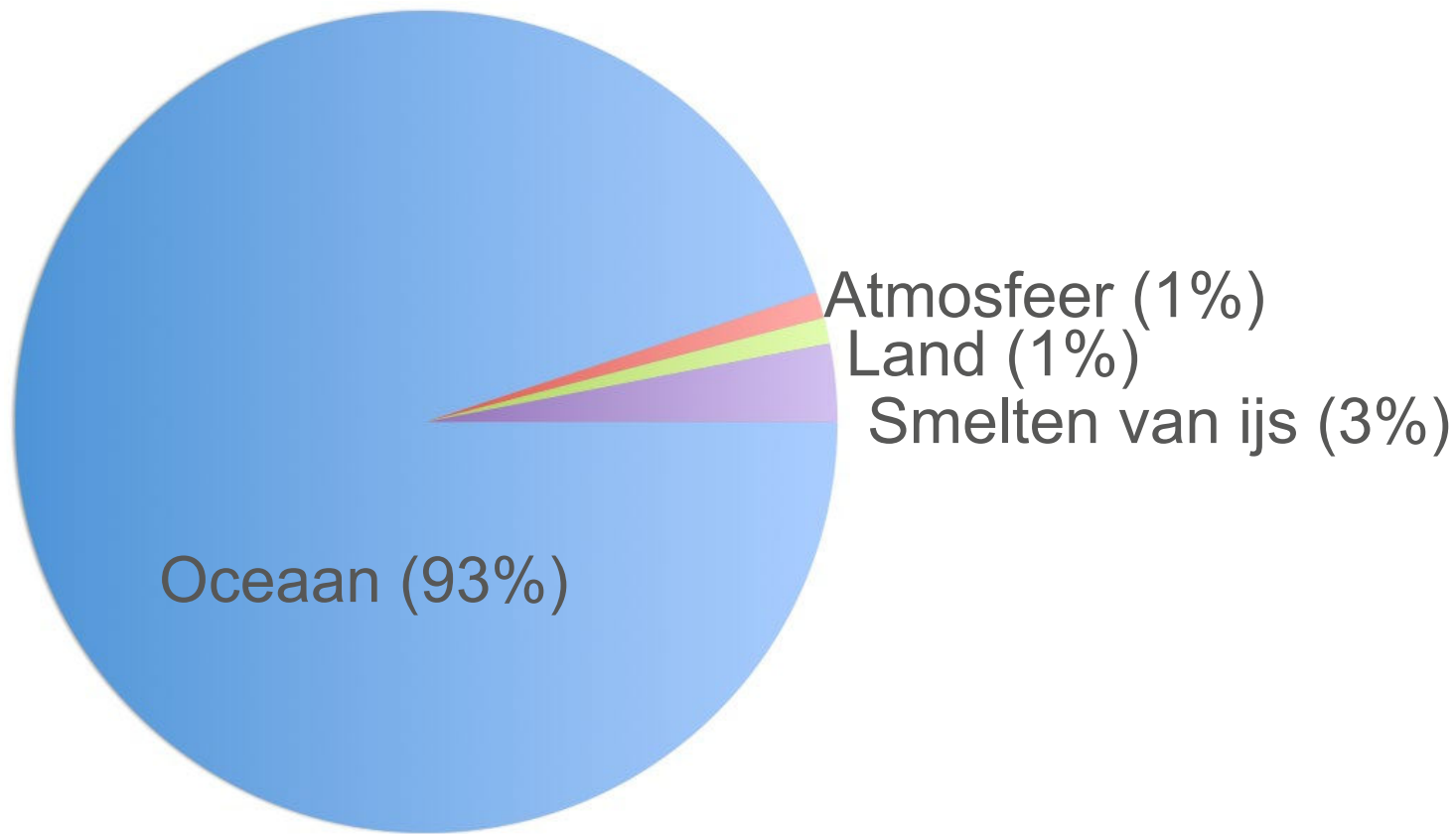
Toekomst van Oceanen en het Klimaat



- Opwarming is onbetwistbaar
- Oorzaak is versterkt broeikaseffect
- Toekomst afhankelijk van emissies en klimaatgevoeligheid



Waar is de extra hitte heengegaan?

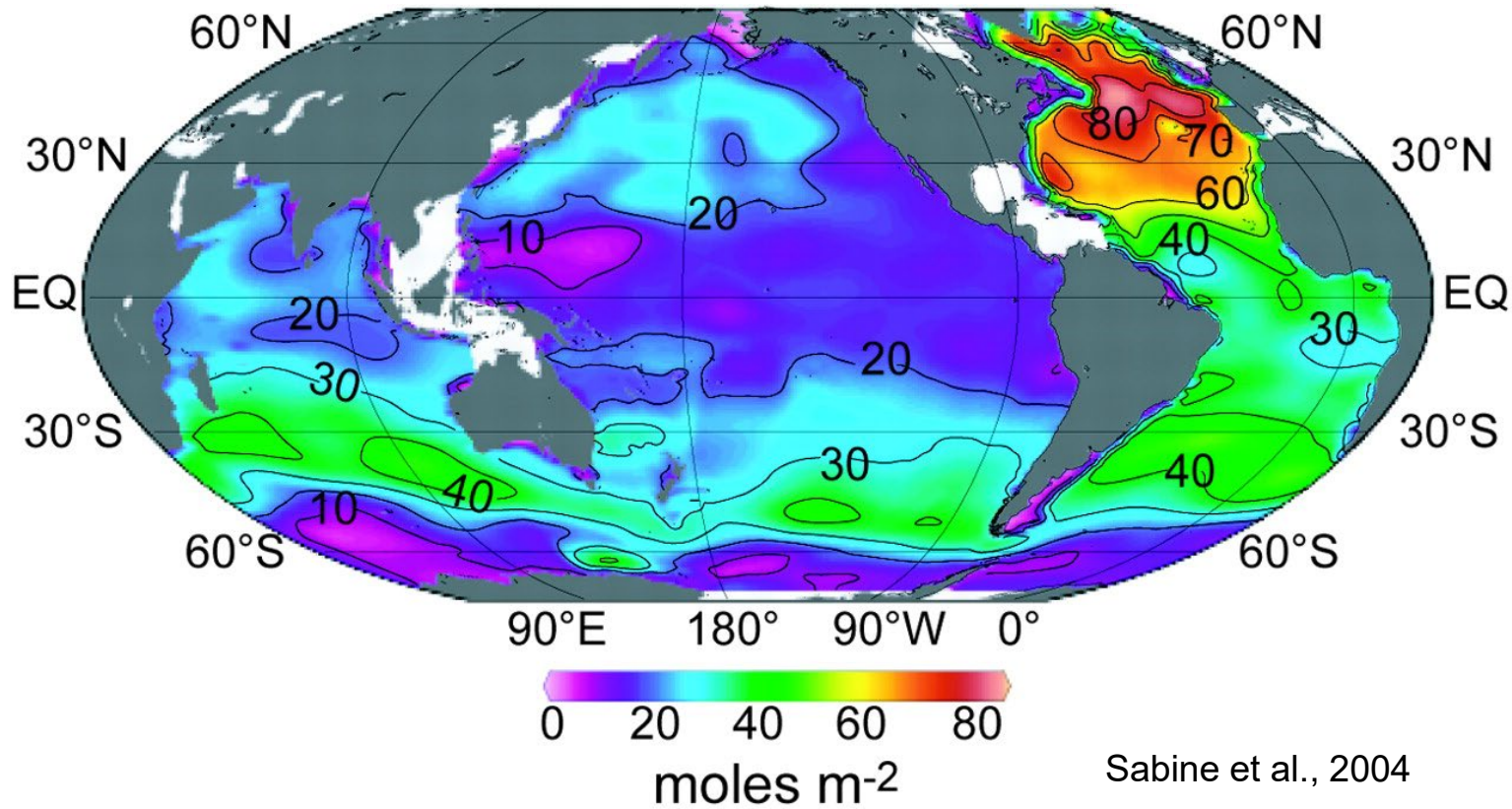






25% van de CO₂ uitstoot opgelost in oceaan

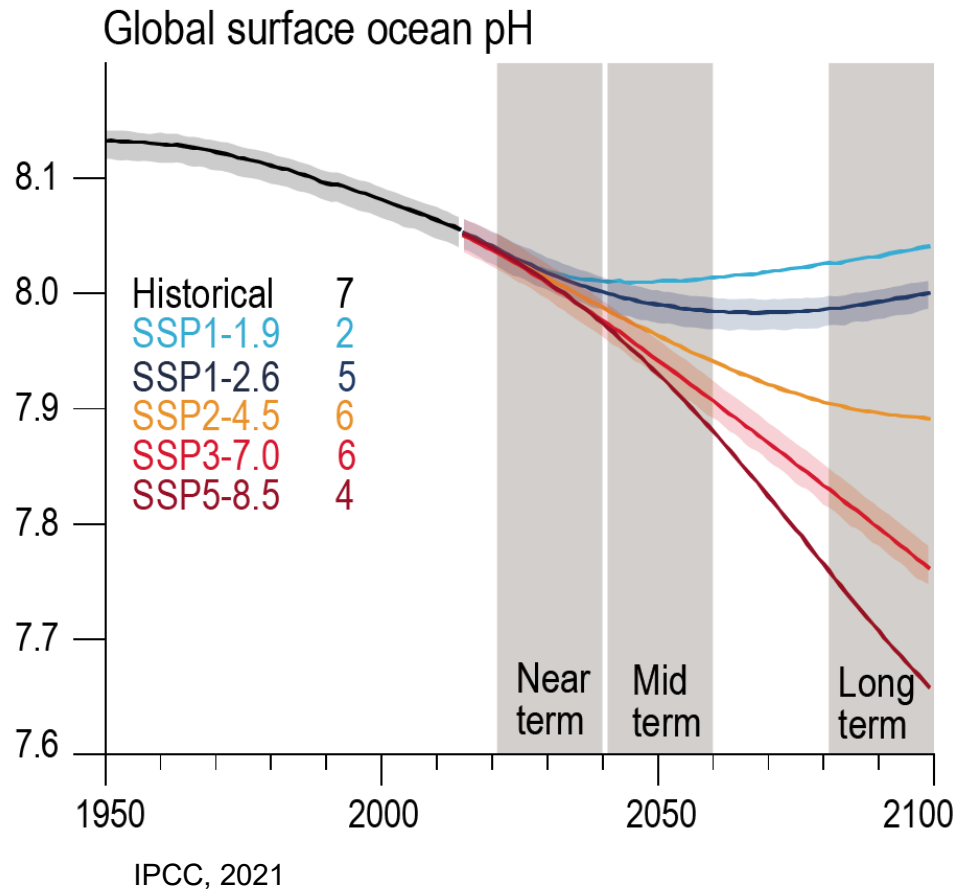
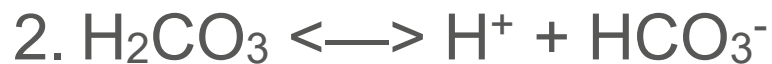
- Sterke CO₂ opname in Noord Atlantische Oceaan



Sabine et al., 2004



Verzuring deels gebufferd door carbonaat ion

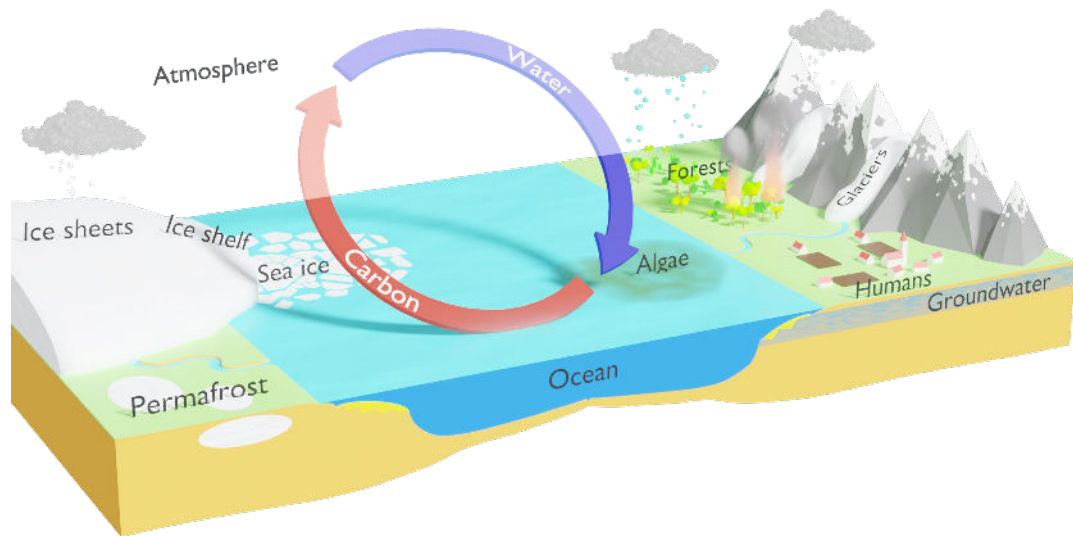




EMBRACER 2025-2034

Earth System Feedback Research Centre

EMBRACER is een
consortium van
klimaatonderzoekers



Het onderzoekt de feedbackprocessen in de koolstof- en watercyclus die klimaatverandering in de toekomst zullen bepalen.



Universiteit Utrecht



Royal Netherlands Institute for Sea Research



VRJEE
UNIVERSITEIT
AMSTERDAM



WAGENINGEN UNIVERSITEIT
WAGENINGEN UR

Radboud Universiteit Nijmegen





EMBRACER
Earth System Feedback Research Centre

2025-2034



**TIPPING
POINT
AHEAD**

- EMBRACER is de opvolger van NESSC, dat Tippingpointahead.nl heeft gemaakt.
- Universiteit, hogeschool en middelbare school medewerkers
- We gaan TPA uitbreiden, ook met materialen voor VMBO
- Zie <https://www.tippingpointahead.nl/lesmateriaal/>



Universiteit Utrecht



Royal Netherlands Institute for Sea Research



VRJE
UNIVERSITEIT
AMSTERDAM



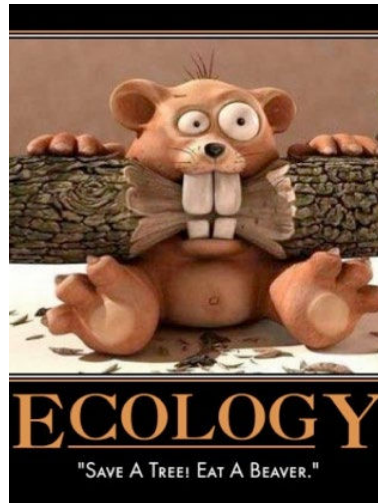
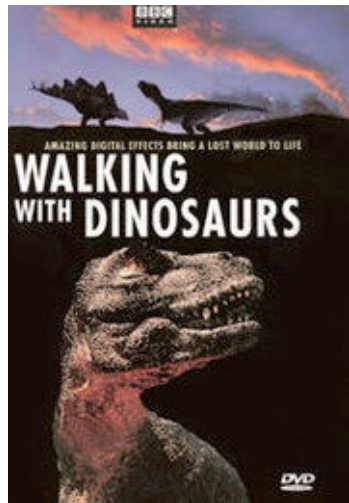
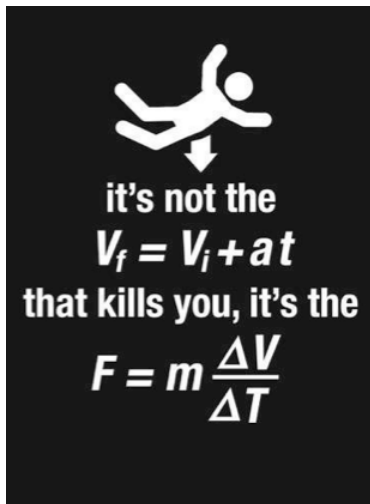
WAGENINGEN UNIVERSITEIT
WAGENINGENUR

Radoud Universiteit Nijmegen

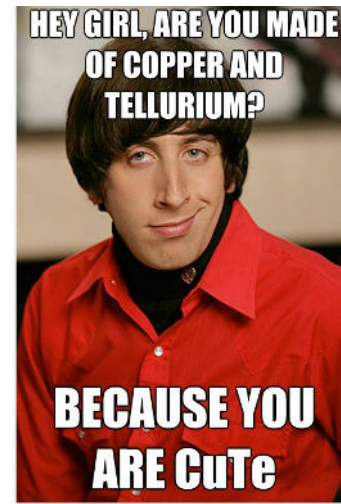




Na - Ak - Bio - Wis - Sk



No math jokes





ZORGT KLIMAATVERANDERING VOOR NÓG MEER CO₂?

Brand zorgt voor meer CO₂. Opwarming zorgt voor meer brand. Hoe zit dat precies?



HOE ZOUT

Zoutere oceanen
aarde verdelen

TIPPING POINT AHEAD IN DE KLAS

Bij Tipping Point Ahead horen leermodules. Zo kunnen leerlingen kennismaken met klimaatonderzoek, en er zelf mee aan de slag.

[LEES MEER >](#)



WAT IS EEN TIPPING POINT?

Waarom zijn tipping points belangrijk voor het klimaat en hoe onderzoek je die? Mark zoekt het antwoord.



HOE VOORSPEL JE EEN TIPPING POINT?

Een omslag in het klimaat kan funest zijn voor het leven op aarde zoals we dat nu kennen. Hoe kan je zo'n kantelpunt zien aankomen?



MAKEN BACTERIËN DE AARDE NOG WARMER?

Een warmere aarde zorgt voor actievare micro-organismen. Maken die de aarde nog warmer met hun broeikasgassen?



SHARON VAN GEFFEN

Civiele techniek, afgestudeerd in 2014



MARGOT CRAMWINCKEL

Biogeologie, afgestudeerd in 2014



OVE MEISEL

Marine Geowetenschappen, afgestudeerd in 2014



SEBASTIAN BATHIANY

Meteorologie, afgestudeerd in 2009



MICHEL IN 'T ZAND

Biologie, afgestudeerd in 2014



BIOLOGIE



Alle levende organismen op aarde laten hun sporen na. Zo zijn ze belangrijk voor het klimaat.



AARDRIJKSKUNDE

Aardrijkskundigen houden zich bezig met het bestuderen van het aardoppervlak. Het klimaat valt onder het domein van fysisch geografen.



WISKUNDE

Berekeningen maken over het klimaat doe je met modellen. Wiskunde is essentieel om die wetten en metingen in een kloppend model te vangen.



SCHEIKUNDE

Kennis van stoffen is belangrijk om de processen beter te begrijpen. Daar komt scheikunde om de hoek kijken.



NATUURKUNDE

Wil je begrijpen hoe het klimaatsysteem werkt, dan moet je de wetten van de natuurkunde kennen.





EMBRACER 2025-2034

Earth System Feedback Research Centre

EMBRACER gaat Tippingpointahead.nl
uitbreiden, ook met materialen voor VMBO



Lessnacks: opdrachten, geschikt om in 1 les in de klas te doen



Universiteit Utrecht



Royal Netherlands Institute for Sea Research



VRJJE
UNIVERSITEIT
AMSTERDAM



WAGENINGEN UNIVERSITEIT
WAGENINGENUR

Radboud Universiteit Nijmegen

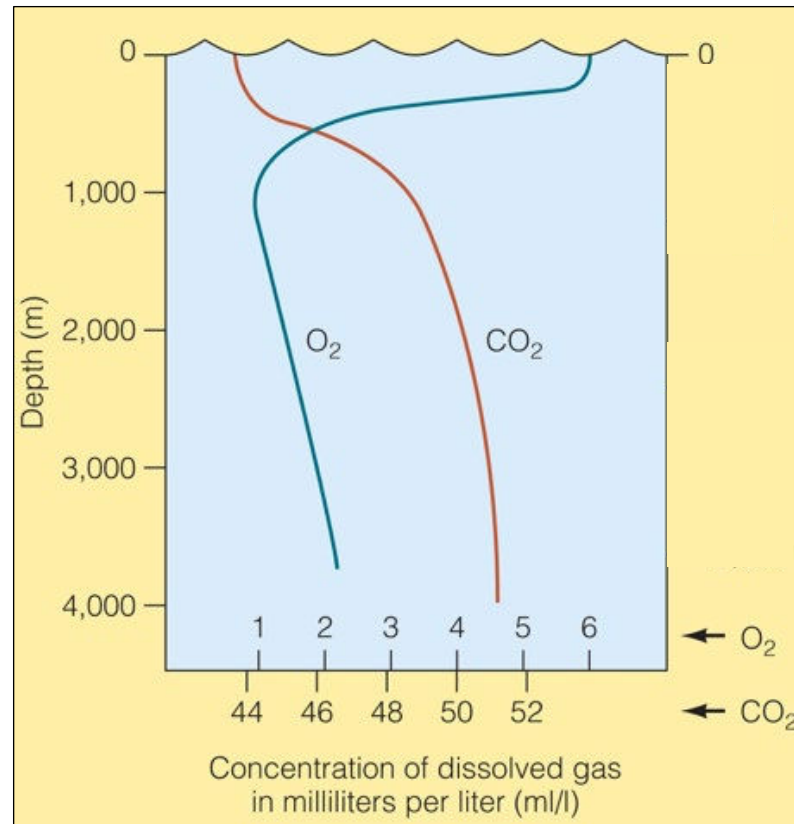




Anoxia - Zuurstofgebrek

O_2 in de oceaan komt uit de lucht

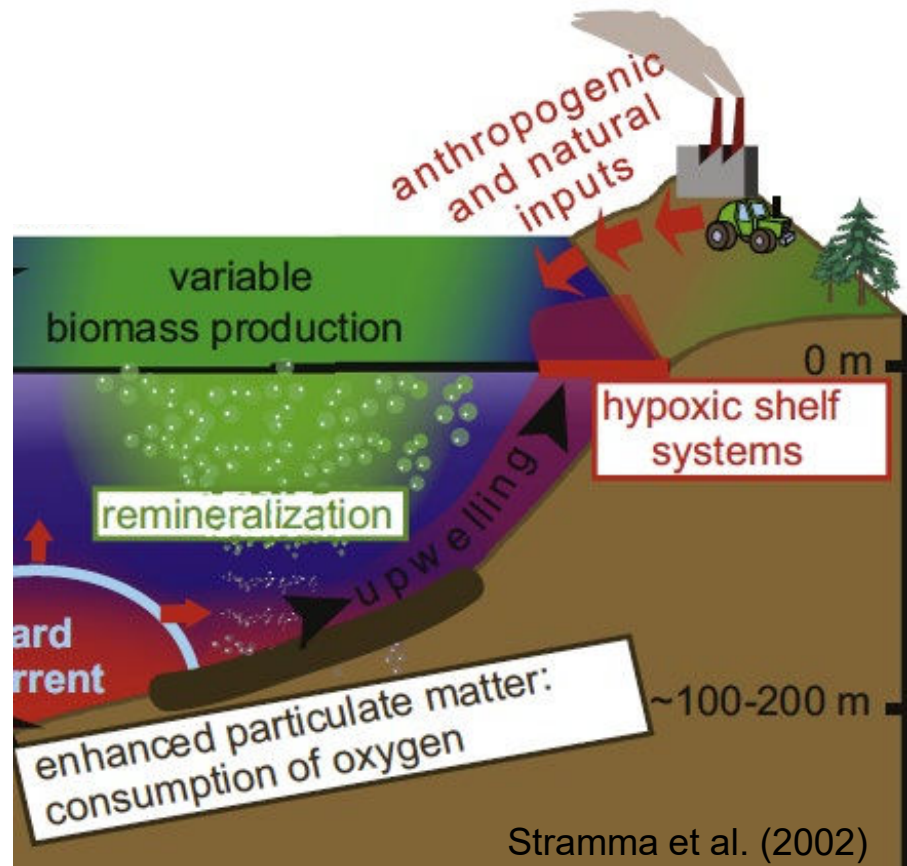
$[O_2]$ lager in diepere waterlagen door afbraak van organisch materiaal





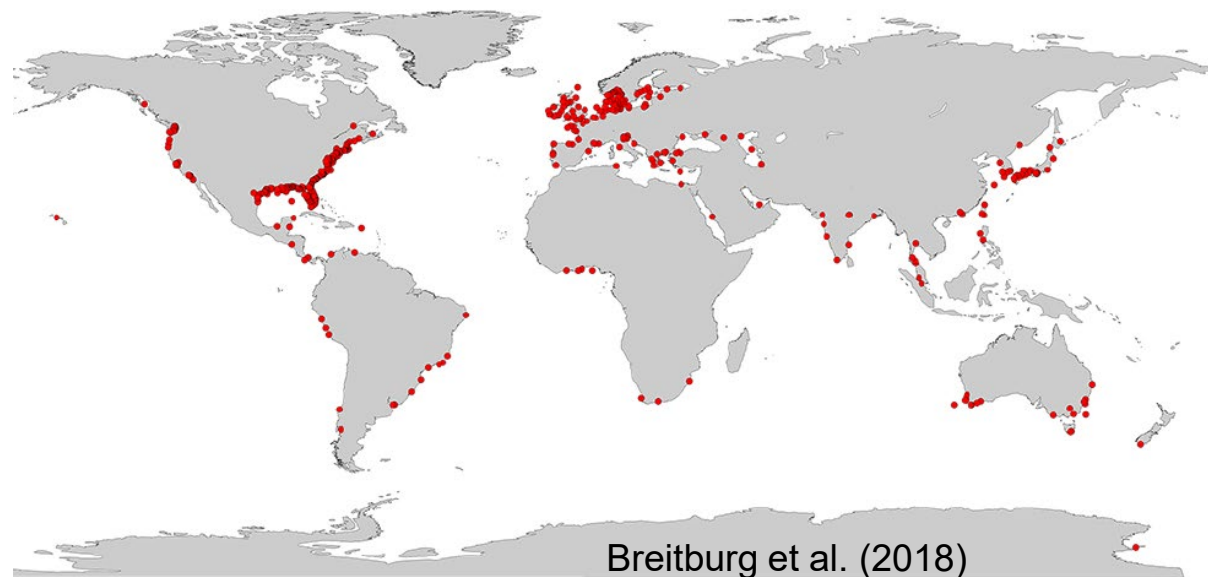
De stikstofcrisis in zee

- Extra nutriënten leiden tot meer biologische groei
- Afzinken van organisch materiaal consumeert meer O_2
- Leidt op grote schaal tot zuurstofloze zones op diepte
- Ook klimaatverandering leidt tot O_2 -gebrek op diepte





Anoxia - Zuurstofgebrek



- Kustgebieden waar $[O_2]$ op bodem onder de 2 mg/L zijn gekomen
- kritisch punt voor dieren
- meeste na 1960

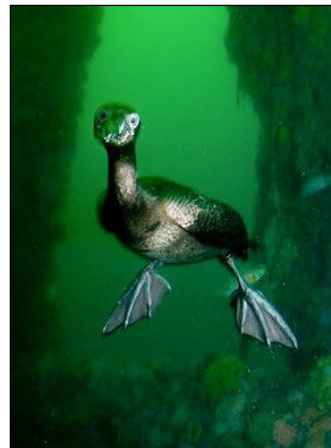
Prachtige redox reacties vinden plaats in dit soort systemen



Million Dollar Question

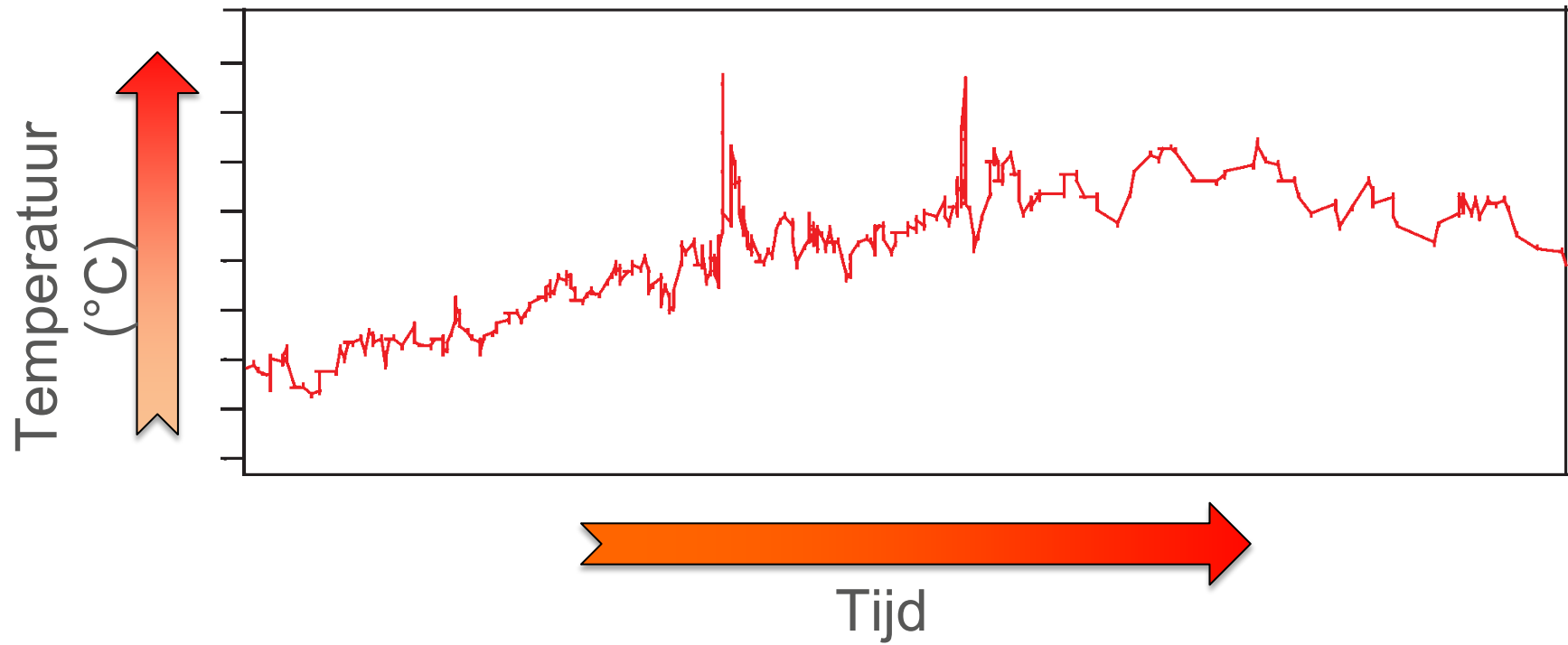
Hoe ziet een warme, CO₂-rijke, O₂-arme oceaan eruit?

(Die vraag beantwoorden is een Nobel doel)



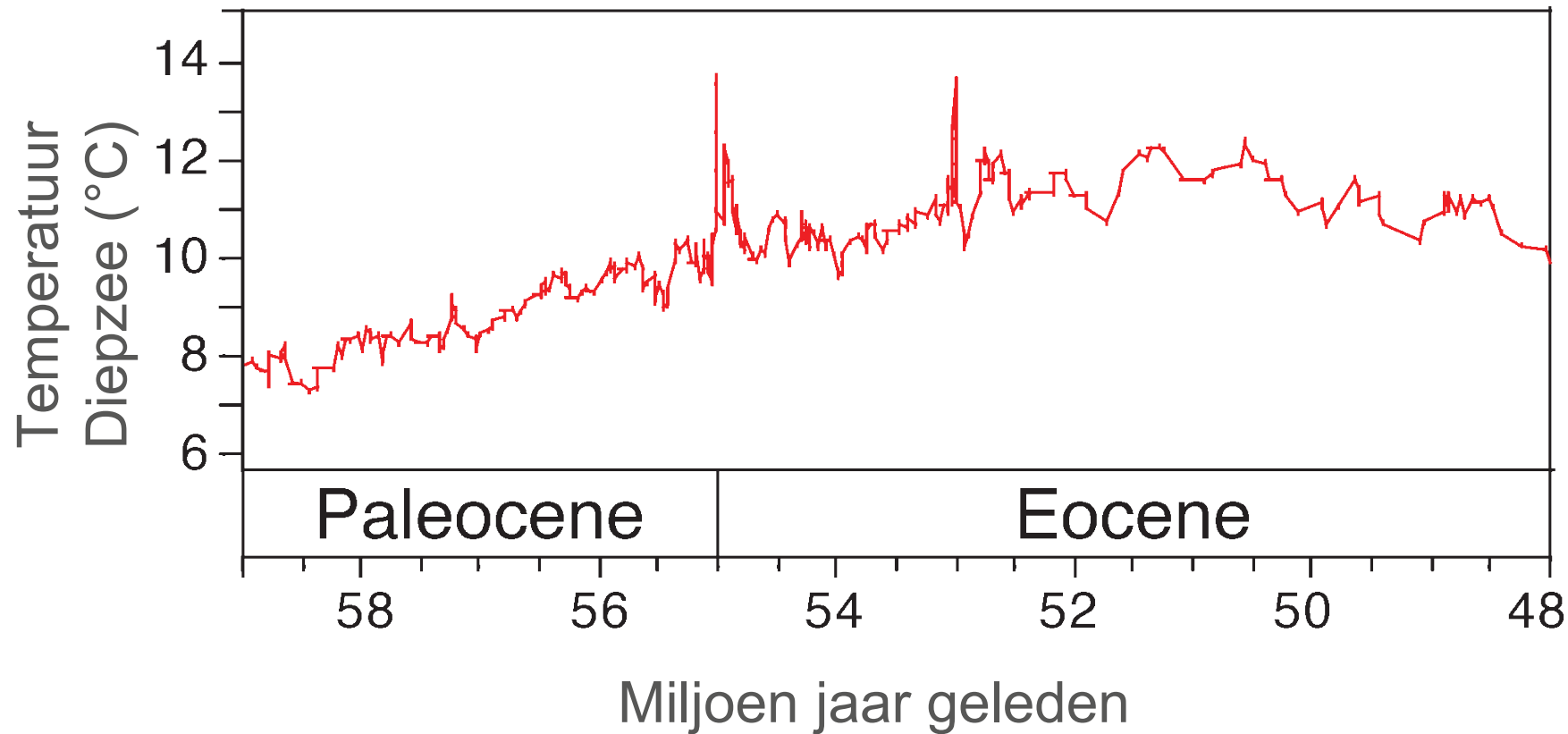


Toekomstprojecties:





Toekomstprojecties: breng het verleden in beeld



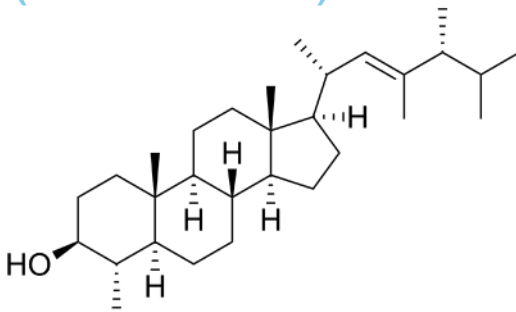


Hiervoor gebruiken analytische chemie op fossielen

Organische fossielen

Dinoflagellaat

Moleculair fossiel
(biomarker): Dinosterol



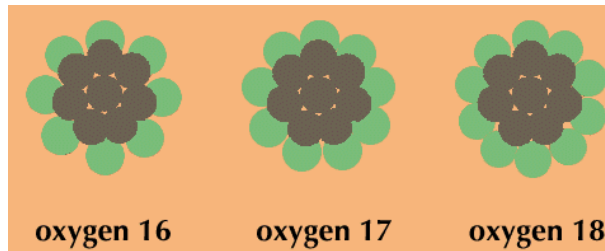
Foraminifeer

Kalkfossielen (CaCO_3)

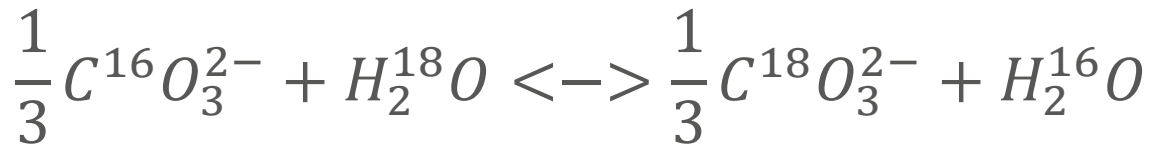




Zuurstof isotopen



Uitwisseling O tussen CO_3^{2-} en H_2O in zeewater



$$K_{eq} = \frac{[^{18}\text{O}]/[^{16}\text{O}]_{\text{carbonate}}}{[^{18}\text{O}]/[^{16}\text{O}]_{\text{water}}}$$

...is temperatuur-afhankelijk

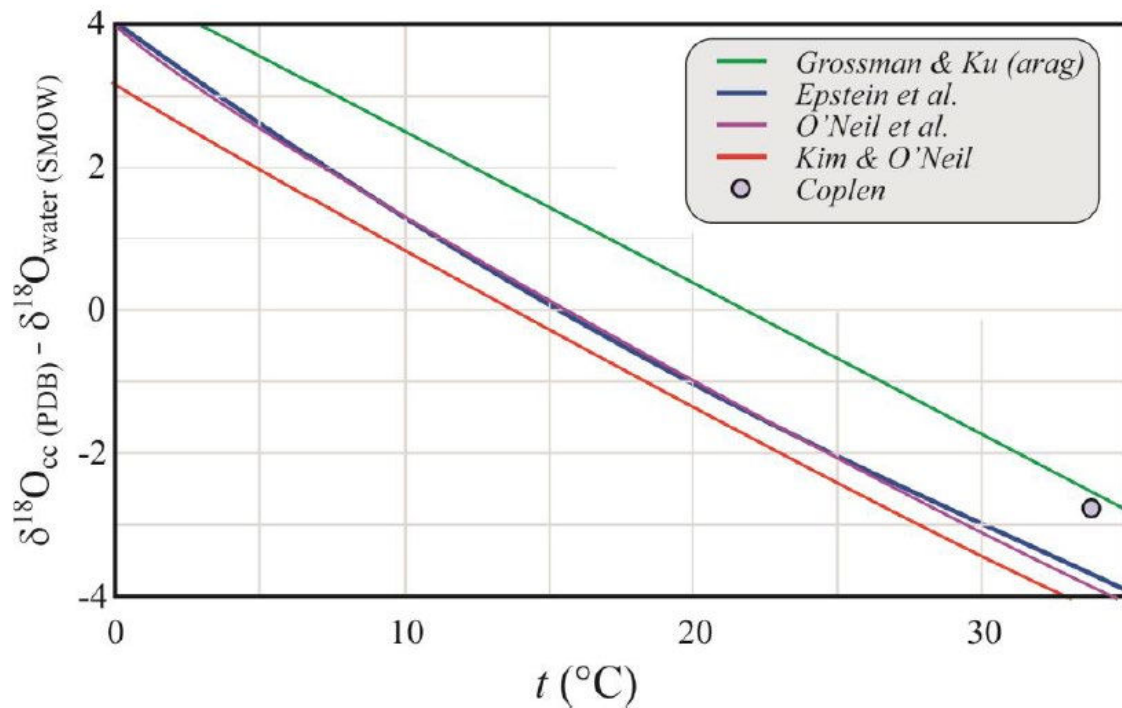
Hoe hoger de temperatuur
Hoe meer ^{16}O in CO_3^{2-}



Zuurstof isotopen

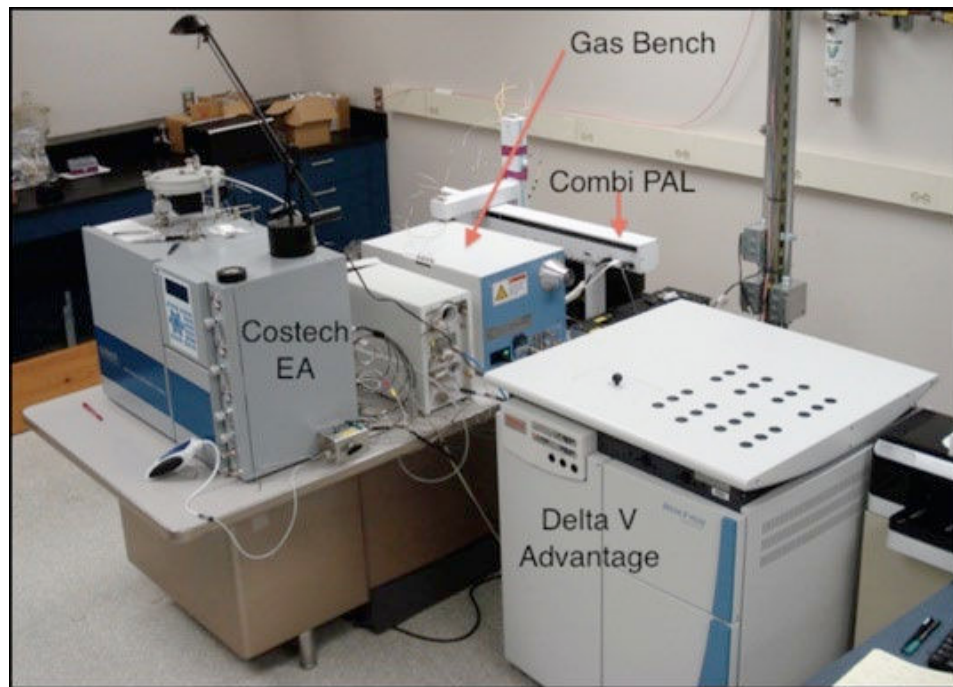
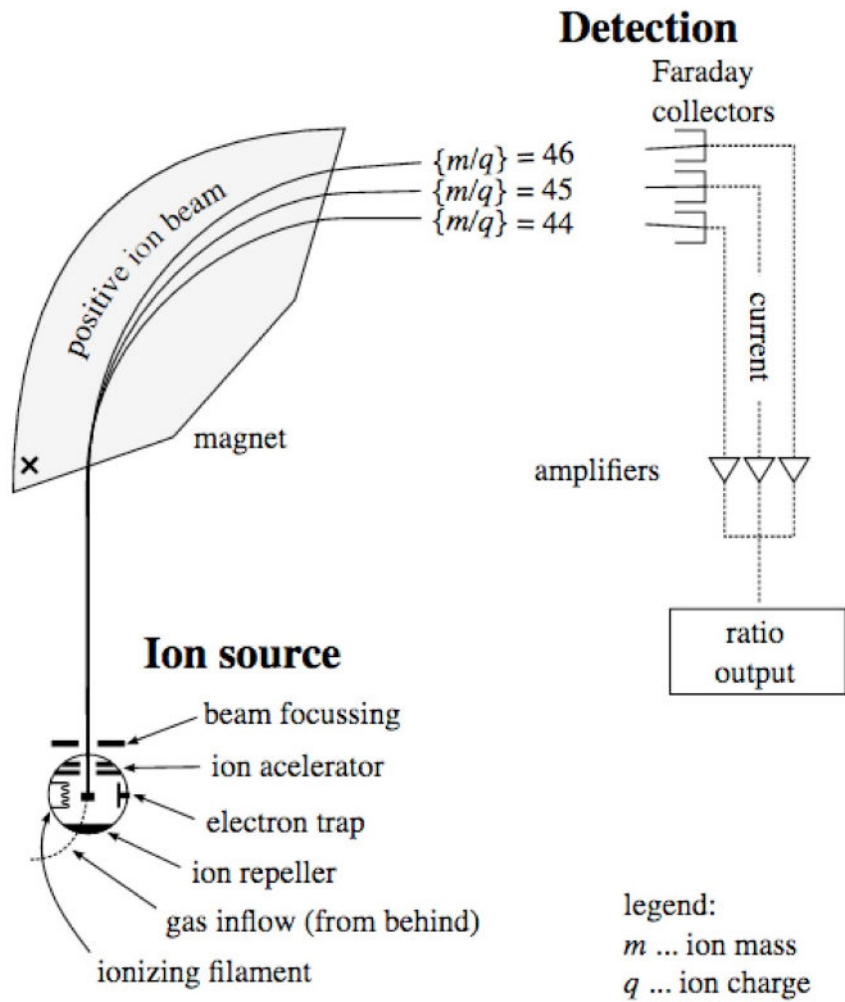
Kalkfossielen: CaCO_3

Hoe hoger de temperatuur
Hoe meer ^{16}O in CaCO_3



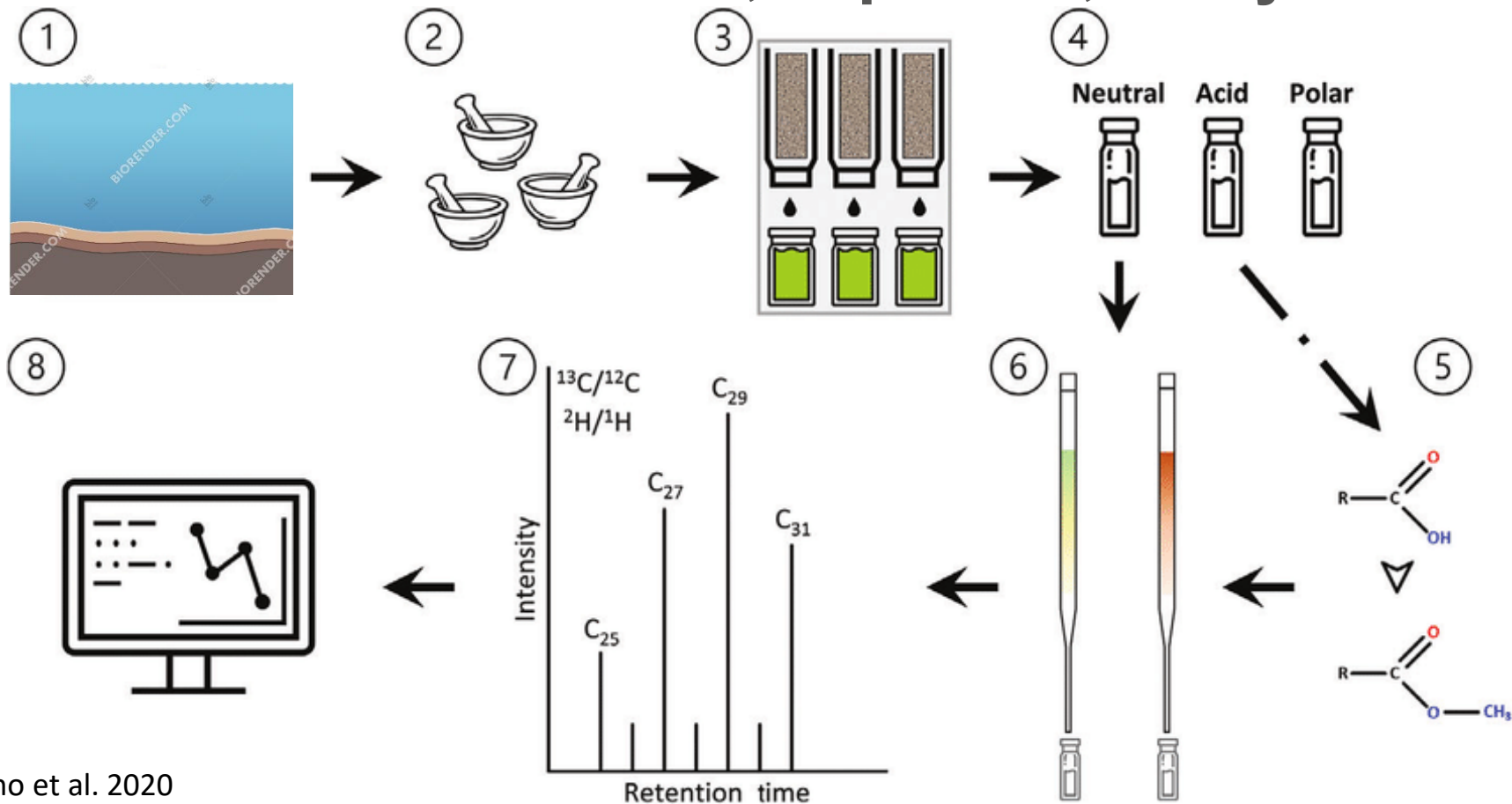


Isotopen Ratio Massa Spectrometrie (IRMS)





Biomarker extractie, separatie, analyse





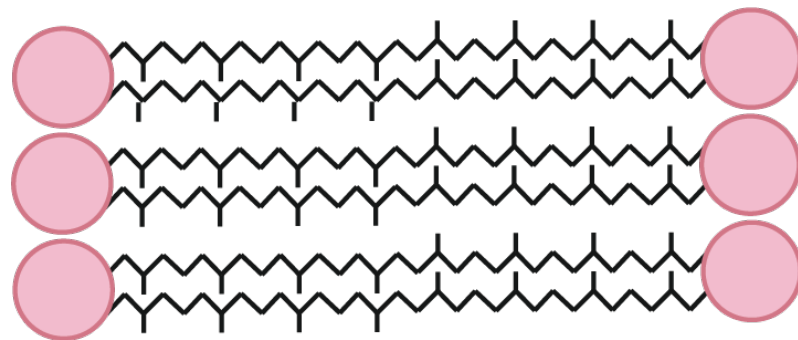
Celmembraanlipiden

Lipid bilayer



Bacteria and eukaryotes

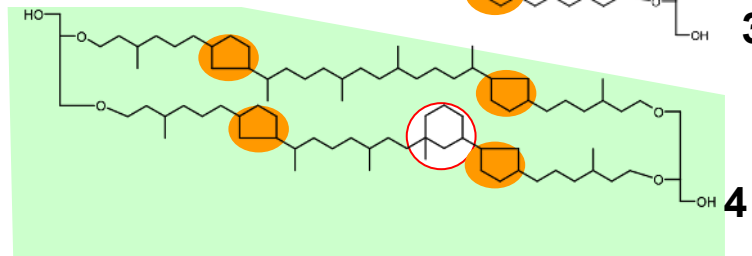
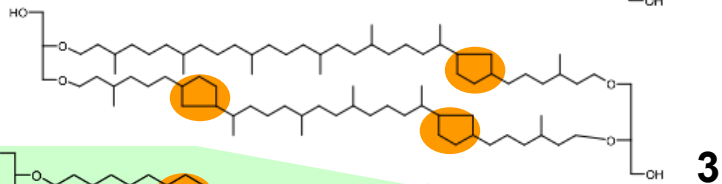
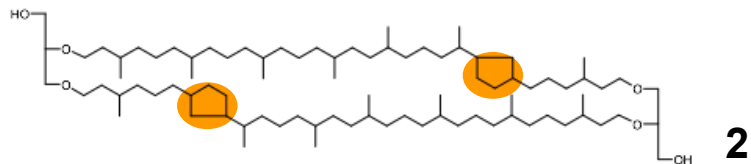
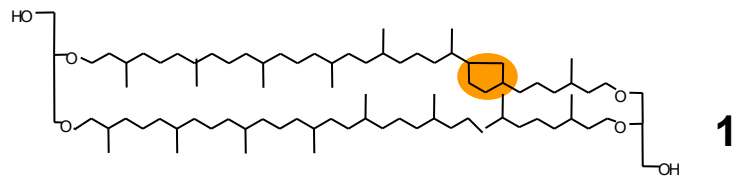
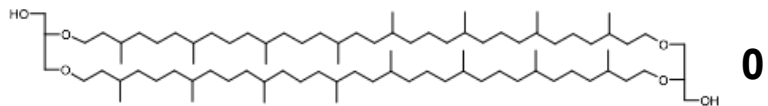
Lipid monolayer



Some archaea

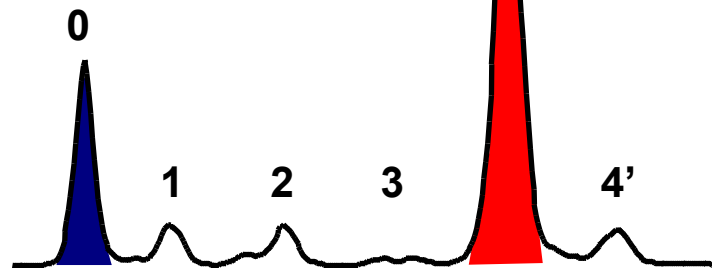


Moleculen van Archaea



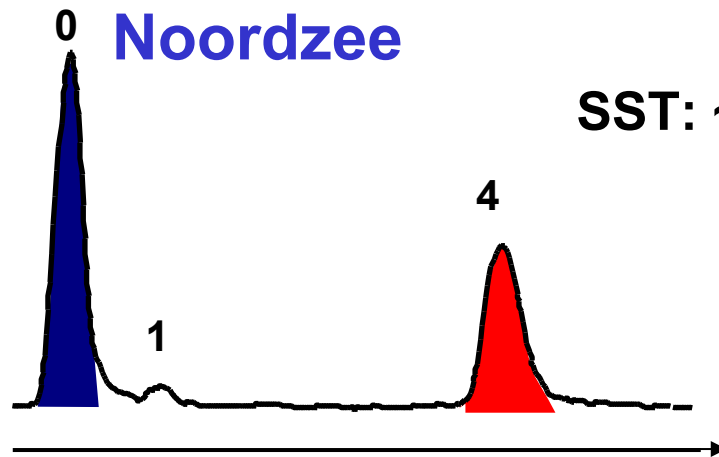
Arabische Zee⁴

SST: ~27°C



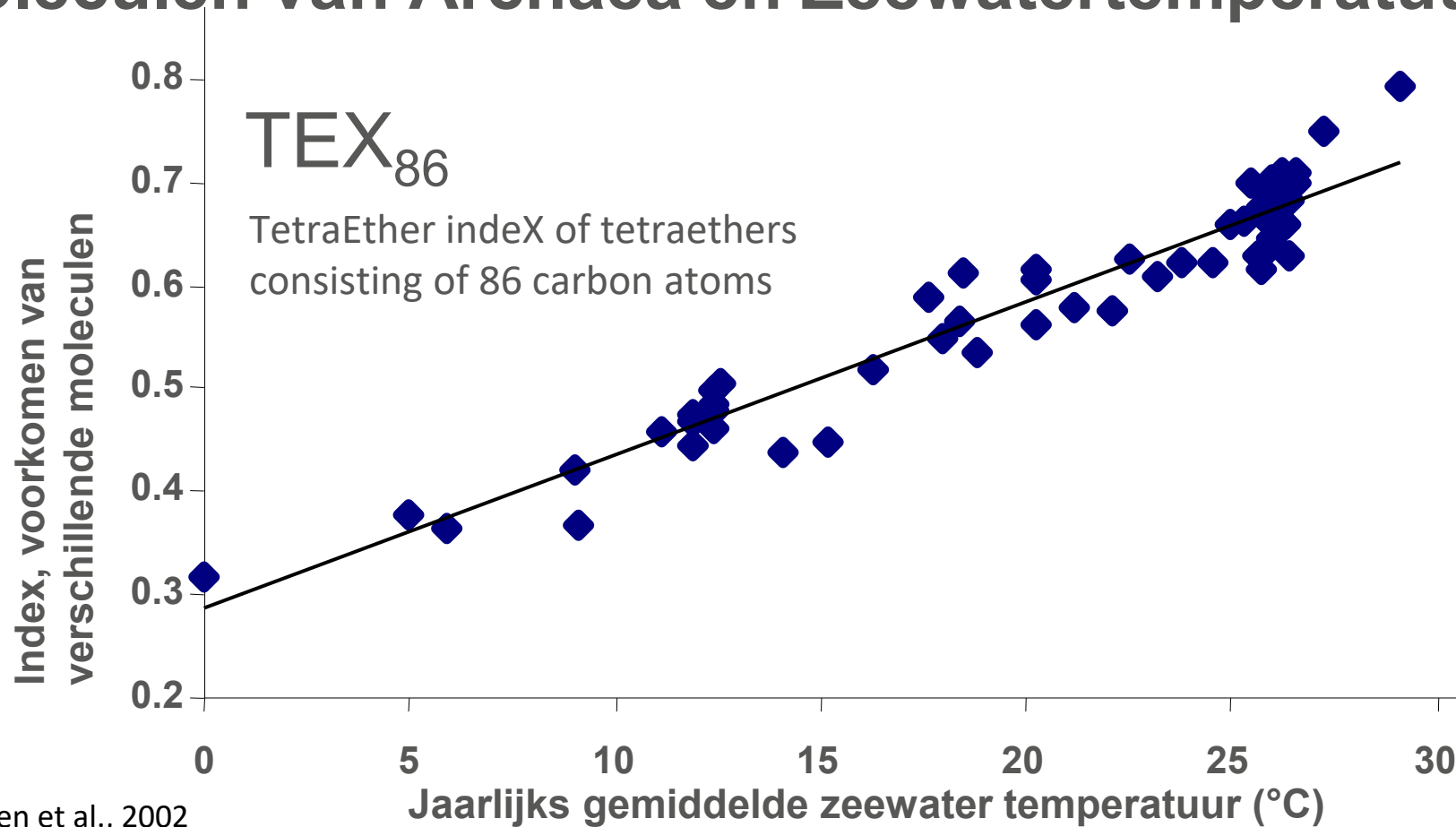
Noordzee

SST: ~12°C





Moleculen van Archaea en Zeewatertemperatuur





Stefan Schouten

Texel



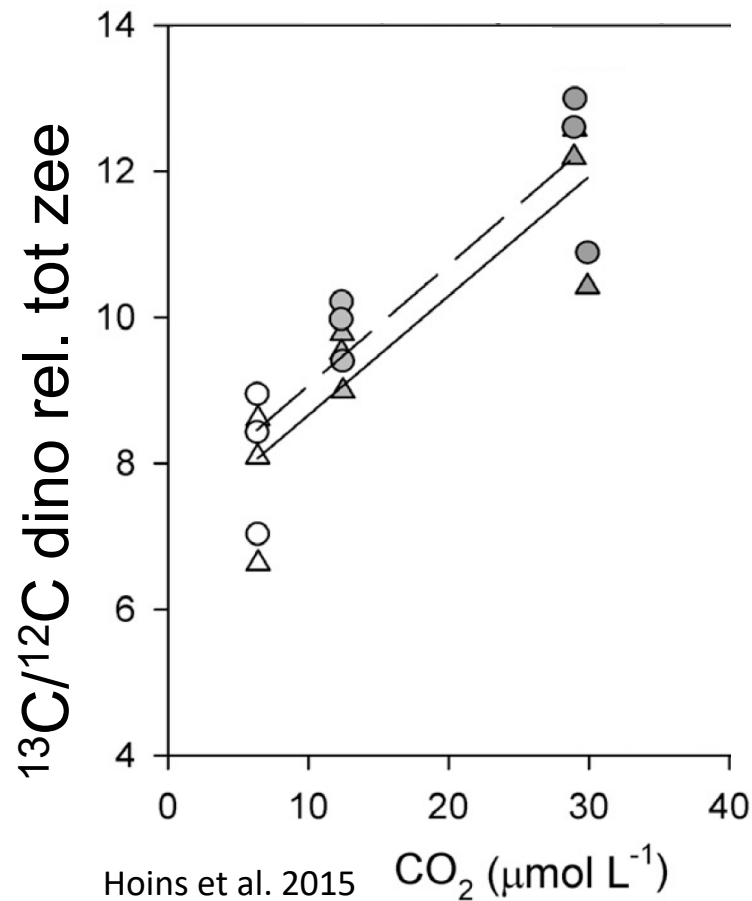


CO₂ barometer

$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio van algen is een maat voor [CO₂]

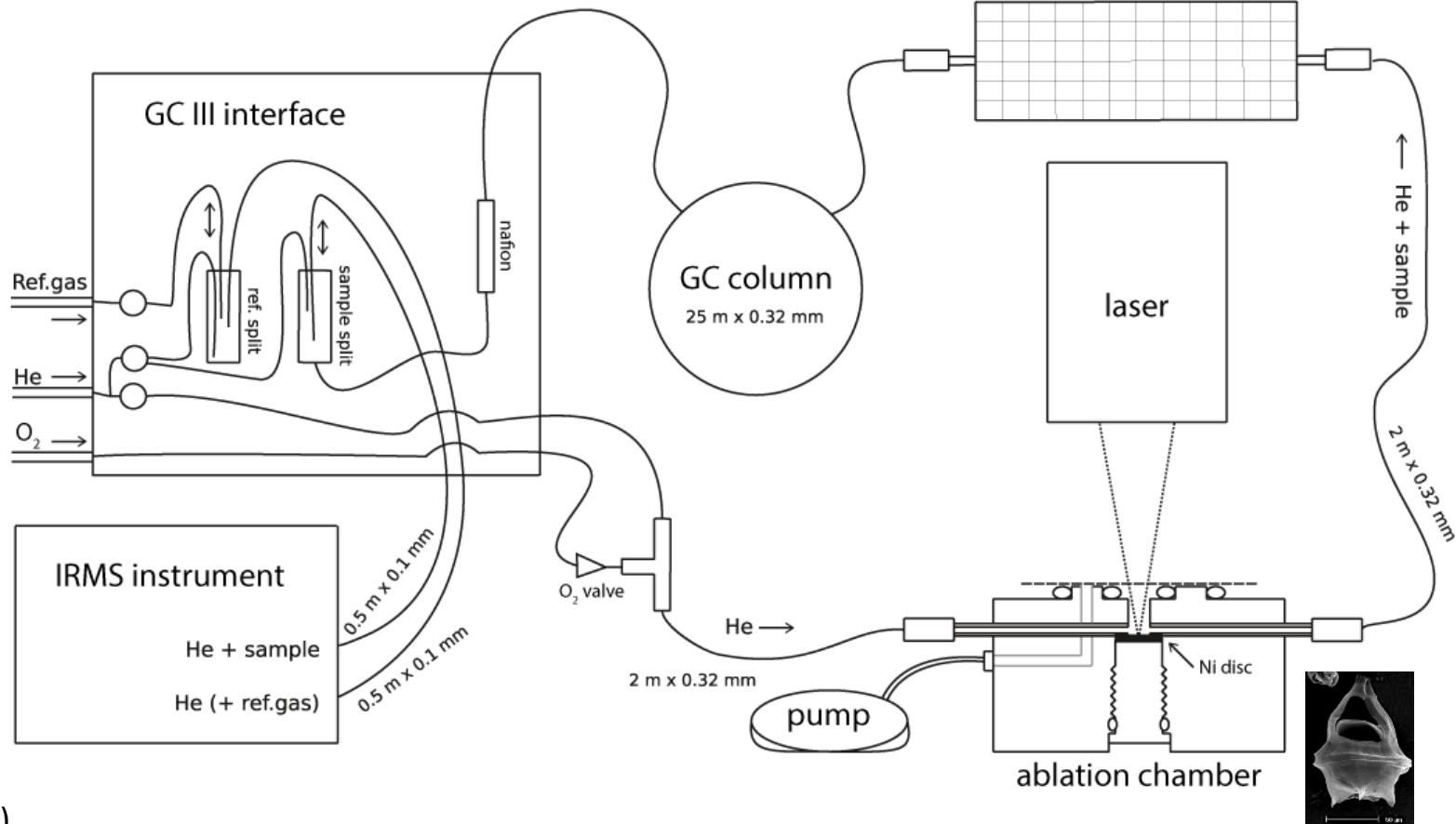


Dinoflagellaat
kweekexperiment



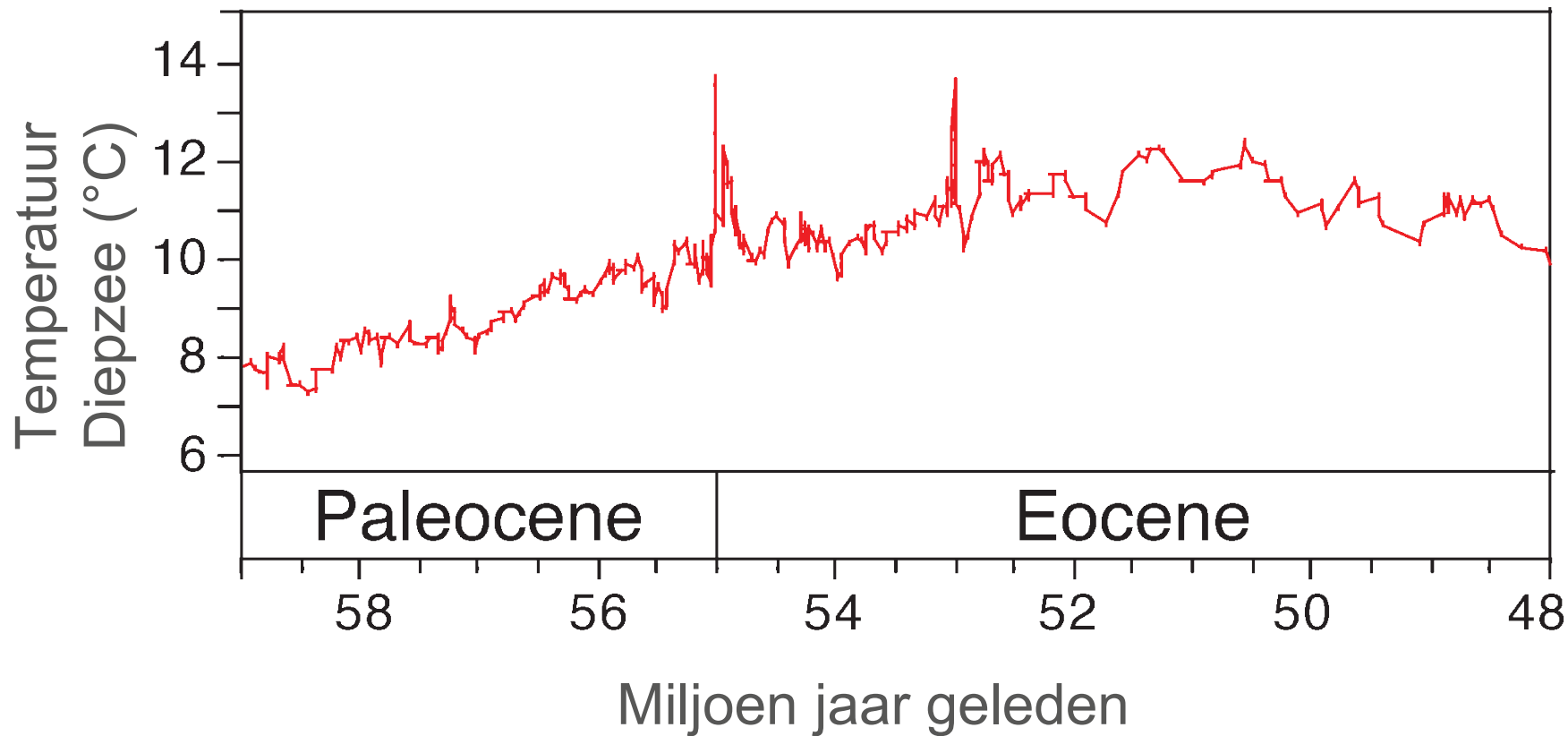


Nieuwe analytische setup





Zuurstofisotopen van diepzee-foraminiferen





Axel Heiberg
island

This satellite image shows the Arctic region, including parts of North America, Europe, and Asia. The Arctic Ocean is visible in the center, surrounded by landmasses. Two specific locations are highlighted with orange circles: Axel Heiberg island in the Canadian Arctic and Spitsbergen in the Svalbard archipelago. The text labels are in orange, matching the circles. The Earth's curvature is visible at the edges of the frame.

Spitsbergen







Photo, Pim Beukenkamp





Kolenmijn, Spitsbergen



Photo, Marc Cornelissen



Hoe reconstrueren we het verleden?



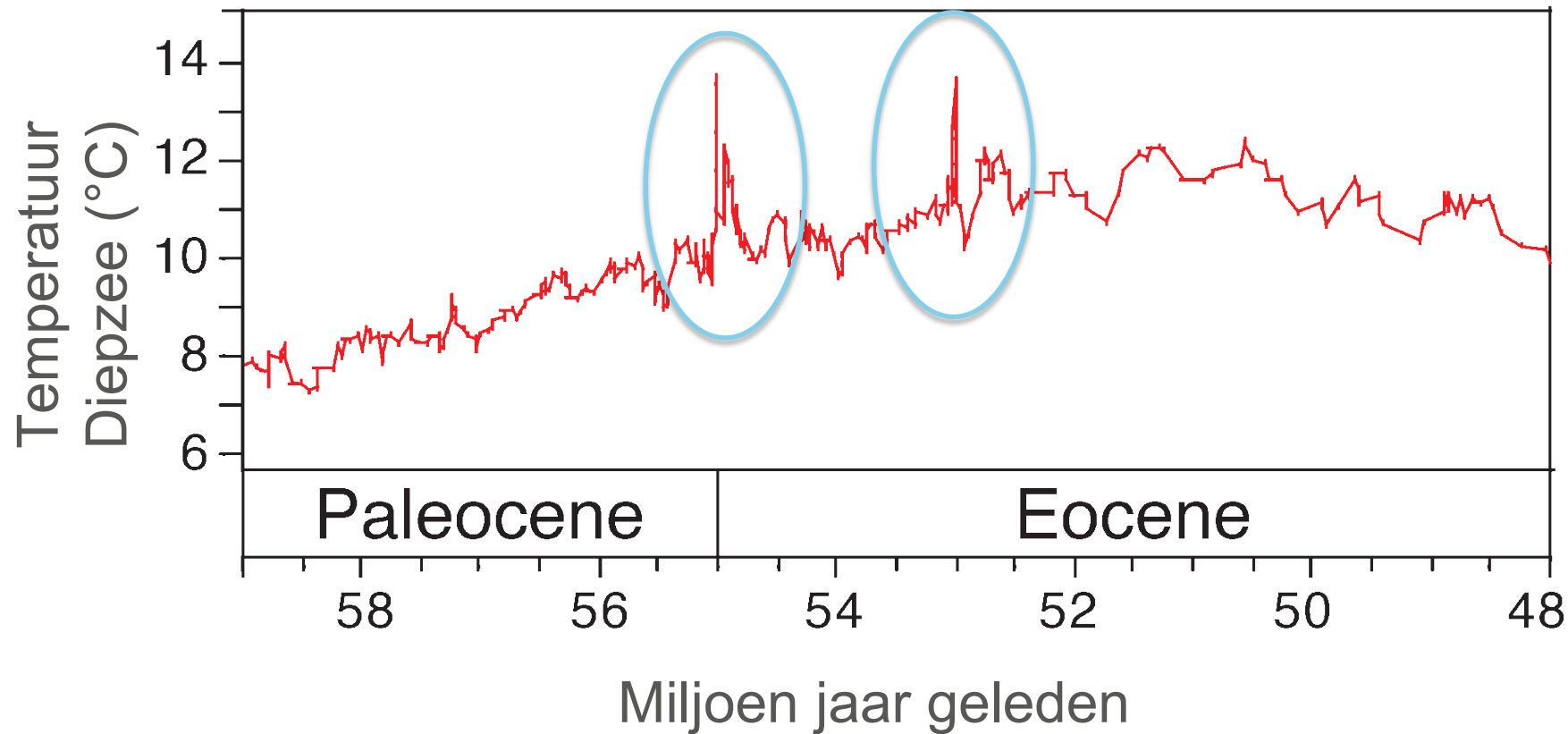
IODP

Fossielen halen we uit
sedimenten van de zeebodem





Perioden van heel snelle opwarming: PETM, ETM2



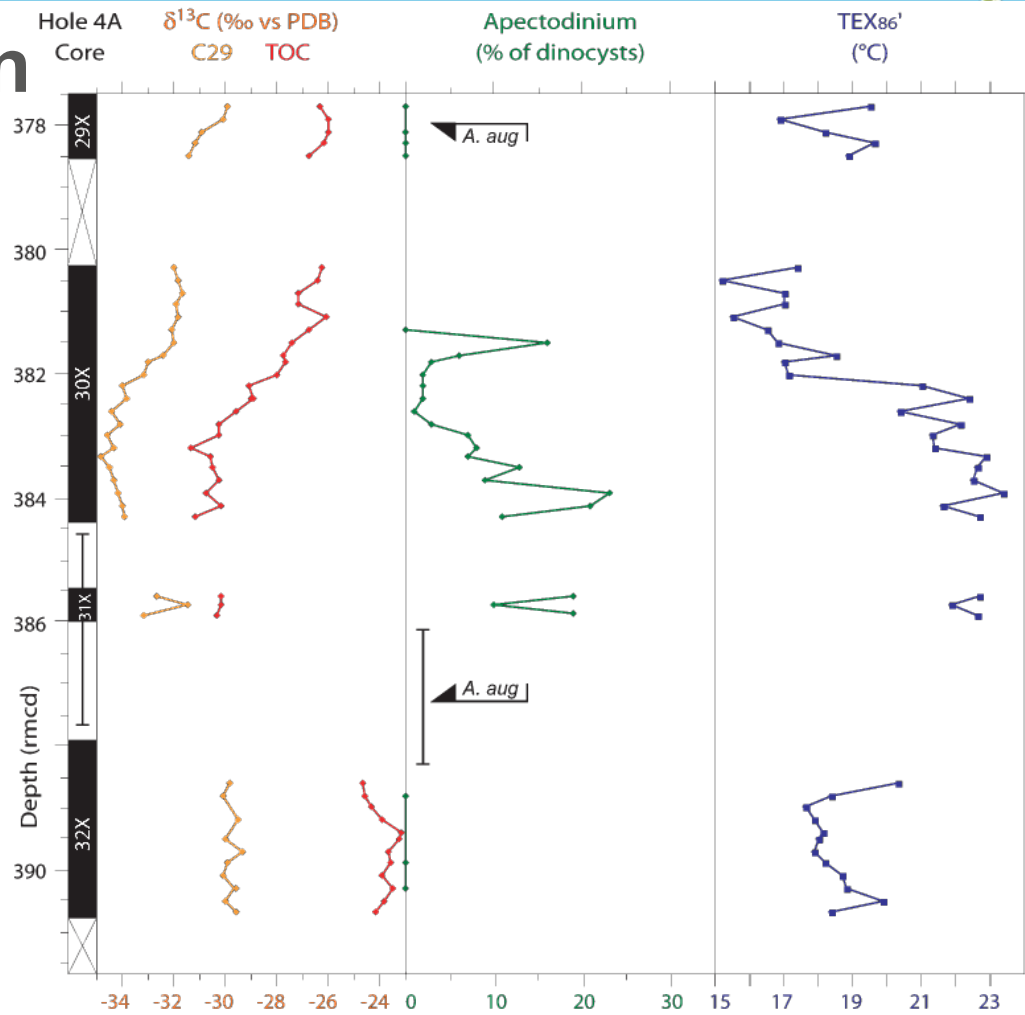
PETM

Dinoflagellaten
migratie



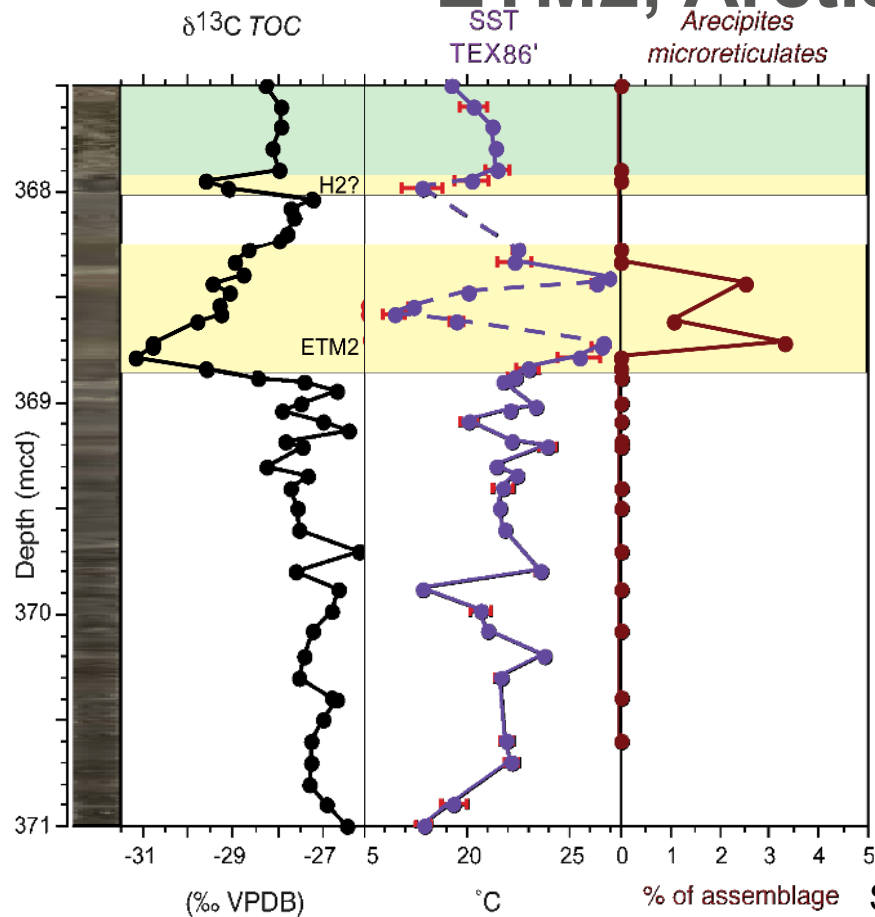


PETM, Arctische Oceaan





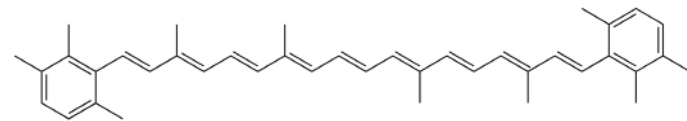
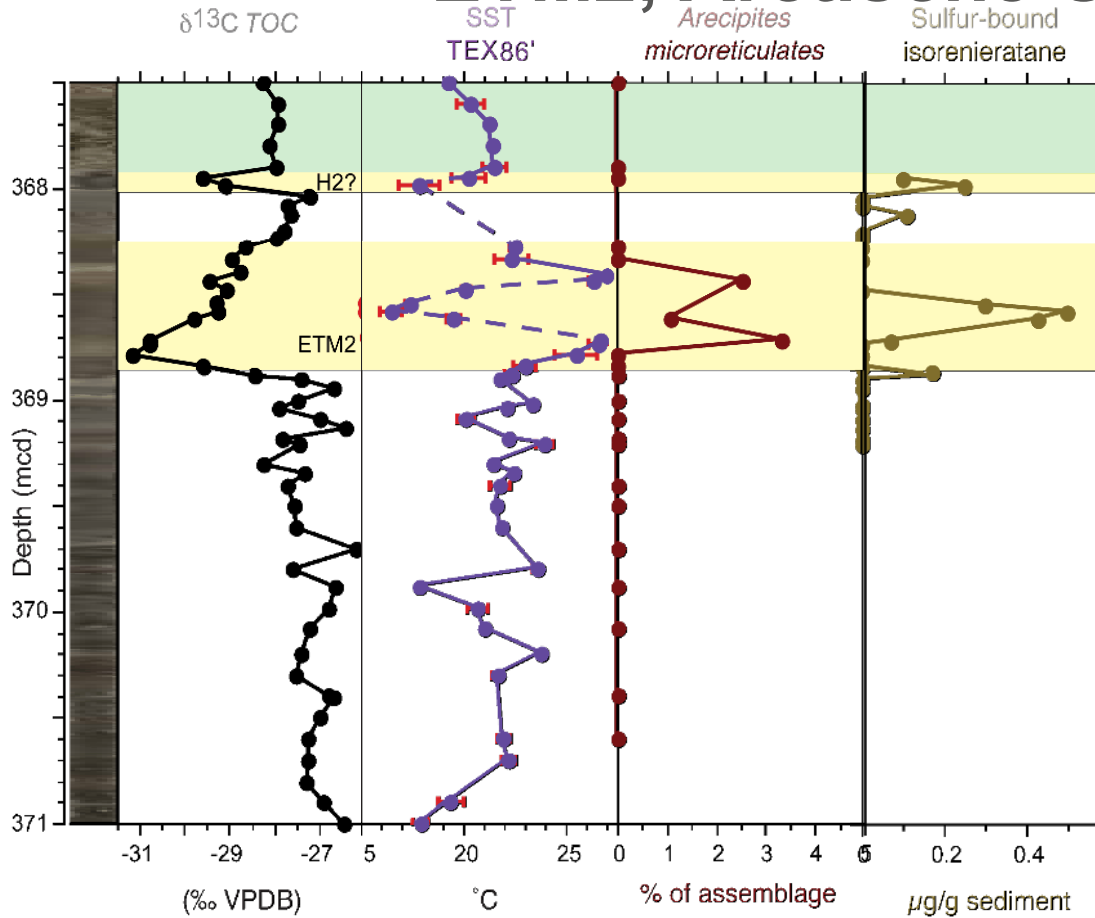
ETM2, Arctische Oceaan



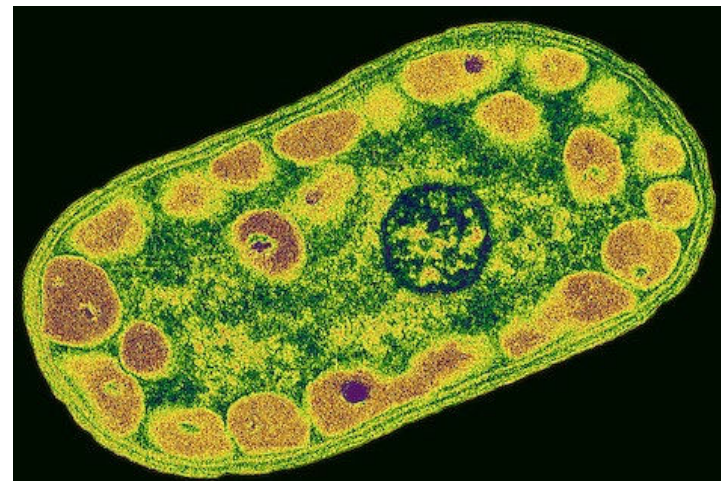
Sluijs et al., 2009



ETM2, Arctische Oceaan

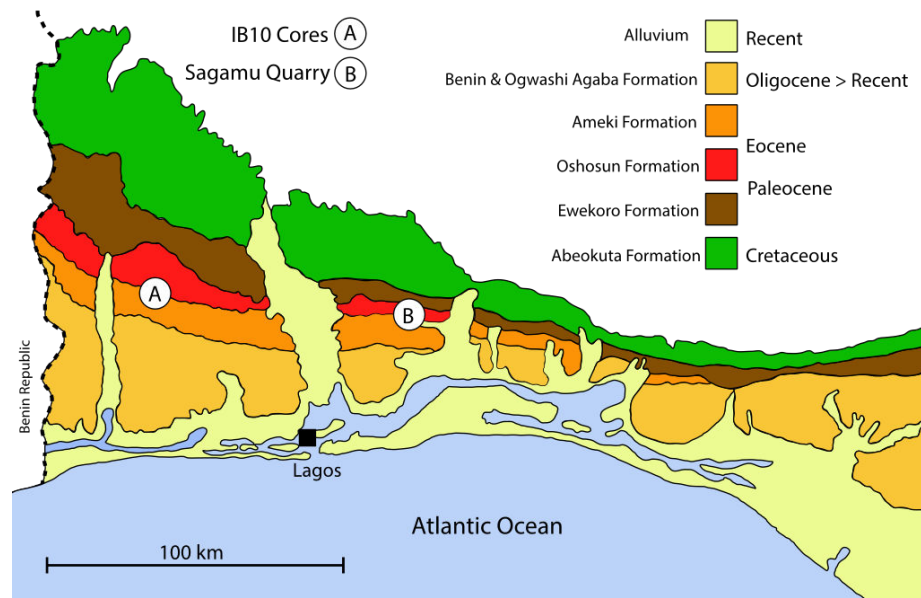


fotosynthetische groene
zwavelbacteriën: H_2S
euxinisch (anoxisch)





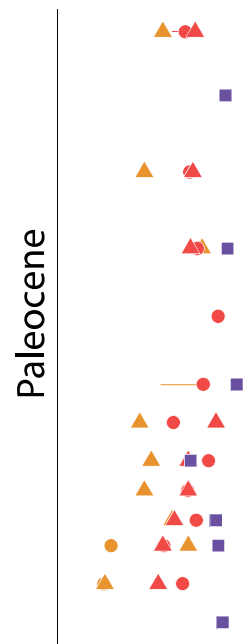
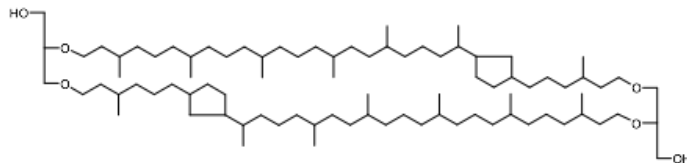
Hoe was het dan in de tropen? Boorkern Nigeria





Temperatuur net voor het PETM

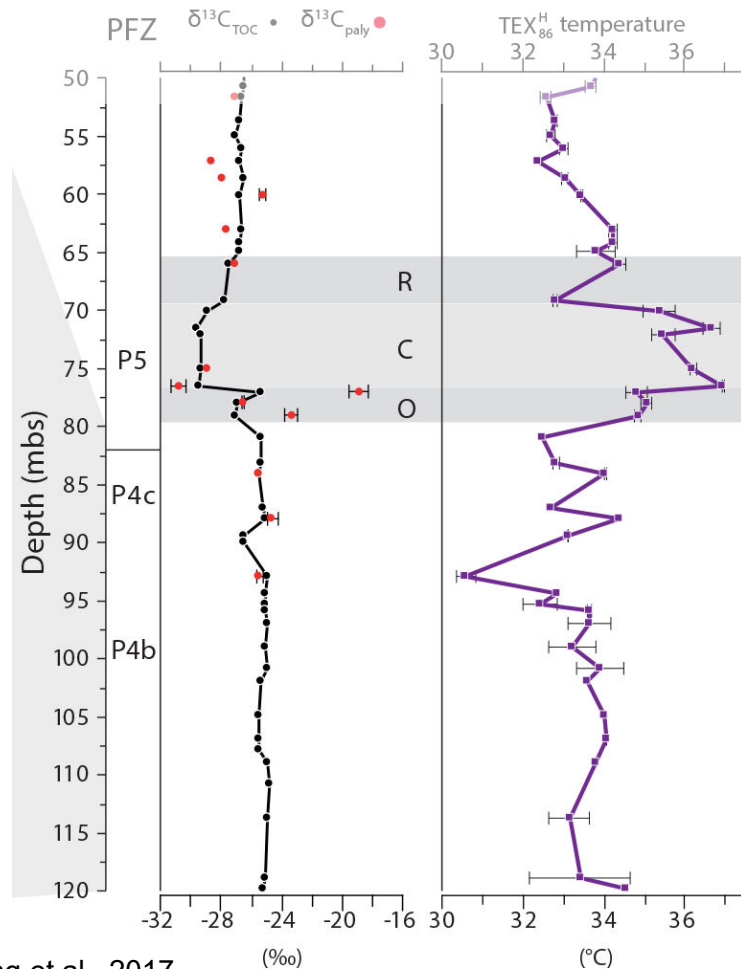
- 30-33 °C





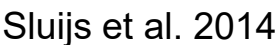
PETM opwarming

- Kalkfossielen en dinoflagellaten absent!
- TEX_{86} naar $\sim 37^\circ\text{C}$





Nutriënten cycli
Koolstofcyclus
Opwarming
Zeeniveau
Regenval
Erosie
Biologie
Verzuring
Zuurstofgebrek





Conclusies

- Grote biogeochemische veranderingen door menselijk handelen in de oceaan
- Analytische chemie belangrijk voor reconstructies van condities in het verleden
- Inzichten faciliteren nobele projecties van de toekomst



Dank



EMBRACER
Earth System Feedback Research Centre



**INTERNATIONAL
OCEAN DRILLING
PROGRAMME**



Ministerie van Onderwijs, Cultuur en
Wetenschap



**TIPPING
POINT
AHEAD**



Op de hoogte blijven van ontwikkelingen,
nascholingen? Of wil je helpen?

Mail redactie@tippingpointahead.nl of

Bjinse Dankert: b.t.dankert@uu.nl

