



Tipping points in past climate

Docentenhandleiding

drs. Rob Adriaens, KNAG & CSG Het Streek
Prof. dr. Appy Sluijs, Margot Cramwinckel MSc, Robin van der Ploeg MSc,
dr. Tine Béneker, NESSC & Universiteit Utrecht



© Deze module is eigendom van het Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap (KNAG) en Netherlands Earth System Science Centre (NESSC). Gebruik van deze module is toegestaan aan scholen of instellingen onder vermelding van de auteurs en de hieronder weergegeven instellingen.

Foto voorzijde: het Paleoceen-Eoceen Thermisch Maximum in boringen in sedimenten op de Walvisrug
<http://www.es.ucsc.edu/~jzachos/images/PETM.jpg>



Werken aan een Geo Future Module

Lesgeven uit een Geo Future Module verschilt in een aantal opzichten van het traditionele lesgeven. Een eerste verschil is dat bij een Geo Future Module de hele module in het teken staat van de eindopdracht. De module vormt voor leerlingen een leertraject waarin zij kennis vergaren die zij nodig hebben om de eindopdracht goed uit te kunnen voeren. Een Geo Future Module vormt daarmee dus echt een geheel. Om de relevantie van de module goed tot uiting te laten komen, moeten leerlingen vanaf het begin weten wat hun eindopdracht is. Dit stimuleert het leerproces.

Een tweede verschil is dat bij een Geo Future Module leerlingen grotendeels zelf aan het werk zijn. Er is zeker ruimte voor presentatie of klassikale uitleg door de docent of een gastspreker, maar dat beslaat niet meer dan 25% van de tijd die aan de module besteed wordt. De meeste opdrachten kunnen door leerlingen zelf of in samenwerking met één of meer andere leerlingen gemaakt worden. De docent heeft daarin wel een belangrijke functie. Hij/zij helpt leerlingen met de inhoud, stimuleert hen, geeft hen advies, houdt hun voortgang bij en, niet in de laatste plaats, houdt hun leerproces in de gaten en stelt dit waar nodig bij. De docent heeft ook een belangrijke taak waar het gaat om het bewaken van de bewegingsvrijheid van leerlingen. Leerlingen kunnen in een Geo Future Module hun eigen leerproces voor een groot deel zelf vormgeven, maar wel binnen bepaalde bandbreedten. Zo wordt creatief denken gestimuleerd, maar moet dit niet leiden tot onrealistische ideeën.

Een derde verschil is dat er bij een Geo Future Module sprake is van differentiatie. Leerlingen kunnen en zullen op verschillende snelheden hun weg door de module vinden. Leerlingen die snel werken hebben meer tijd voor de eindopdracht, leerlingen die minder snel werken hebben meer tijd om zich de basisstof eigen te maken. Een aantal opdrachten in de modules zijn aangemerkt als go-no go momenten. De leerlingen mogen pas verder werken als de docent deze opdrachten heeft goedgekeurd.

Een laatste verschil schuilt in de denkvaardigheidsniveaus. In de gemiddelde traditionele les spelen vooral lagere denkvaardigheden een rol (onthouden/memoriseren, begrijpen, toepassen). Geo Future Modules zijn zo ingericht dat ook de hogere denkvaardigheden aan bod komen. Er vindt een opbouw in denkvaardigheidsniveaus plaats. Hoge denkvaardigheden als analyseren, evalueren en creëren komen in de loop van de modules steeds meer aan bod.

Start van de module

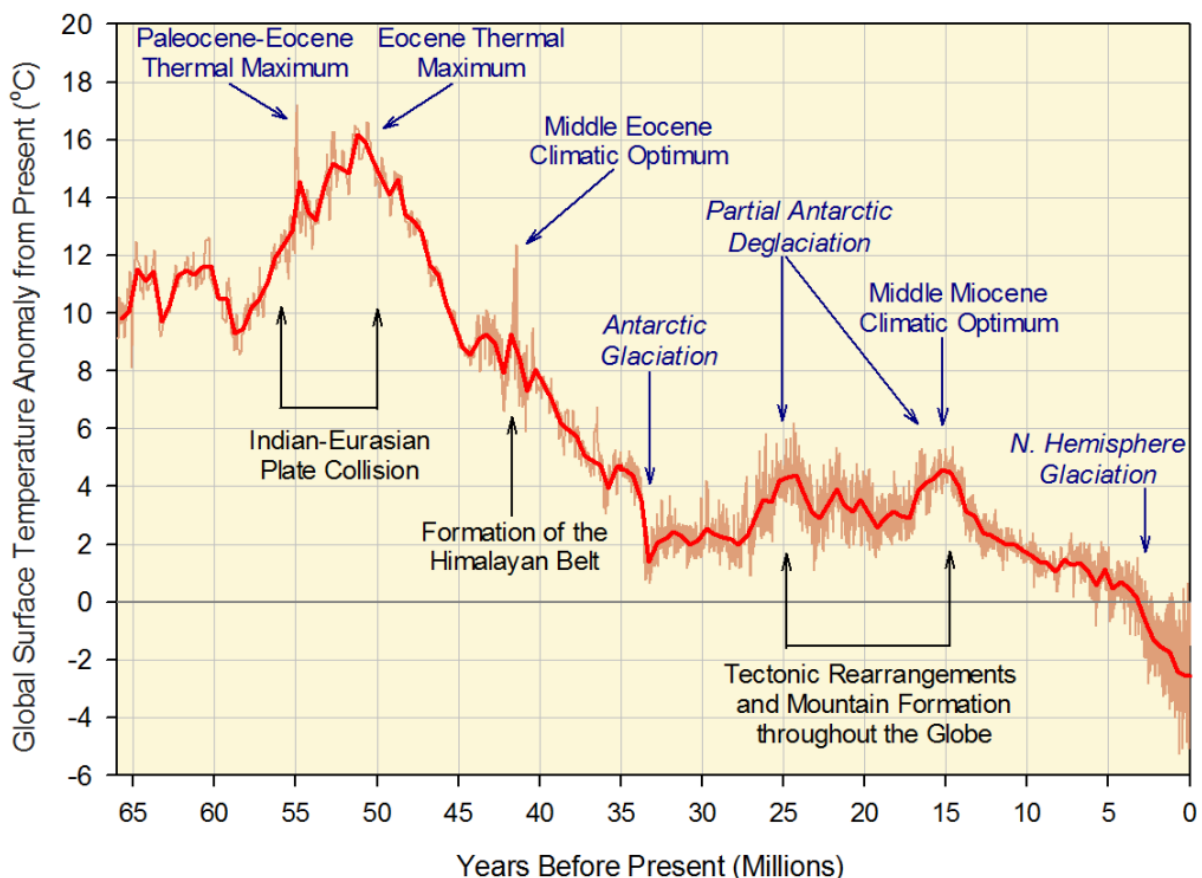
Een Geo Future Module bestaat een relatief groot aantal lessen die allemaal in het teken staan van één thema. De start van de module is alleen daarom al van groot belang. Maar tijdens de start van de module moeten leerlingen ook geïnteresseerd en geprikkeld worden. Voor een docent zijn er bij de start van de module dan ook een aantal zaken van groot belang:

- De leerdoelen: deze zijn opgenomen in het curriculum. De docent moet deze leerdoelen gedurende de hele module helder op zijn of haar netvlies hebben staan. In het curriculum staat hetgeen leerlingen aan het eind van de module zouden moeten kennen en kunnen.
- De introductie: de docent kan hiervoor verschillende middelen gebruiken. Een fragment uit de film *The day after tomorrow*, een filmpje van de website *tipping point ahead*, een nieuwsbericht over het thema of putten uit eigen ervaring. Alles is mogelijk. Het effect moet in ieder geval zijn dat het leerlingen verwondert, inspireert of aan het denken zet.
- De eindopdracht: deze wordt in het begin van de module geïntroduceerd. Tijdens de module doen leerlingen kennis op en oefenen ze vaardigheden die nodig zijn bij de eindopdracht. Het voortdurende vooruitzicht op de eindopdracht draagt eraan bij dat leerlingen de relevantie van de andere opdrachten zien.
- De startopdracht: de eerste opdracht in de module heeft tot doel het thema dicht bij de belevingswereld van leerlingen te brengen of een eerste blik te geven op de eindopdracht. Samen met de introductie door de docent, zal het verloop van de startopdracht in grote mate bepalend zijn voor het welslagen van de hele module. Een goed begin is het halve werk.

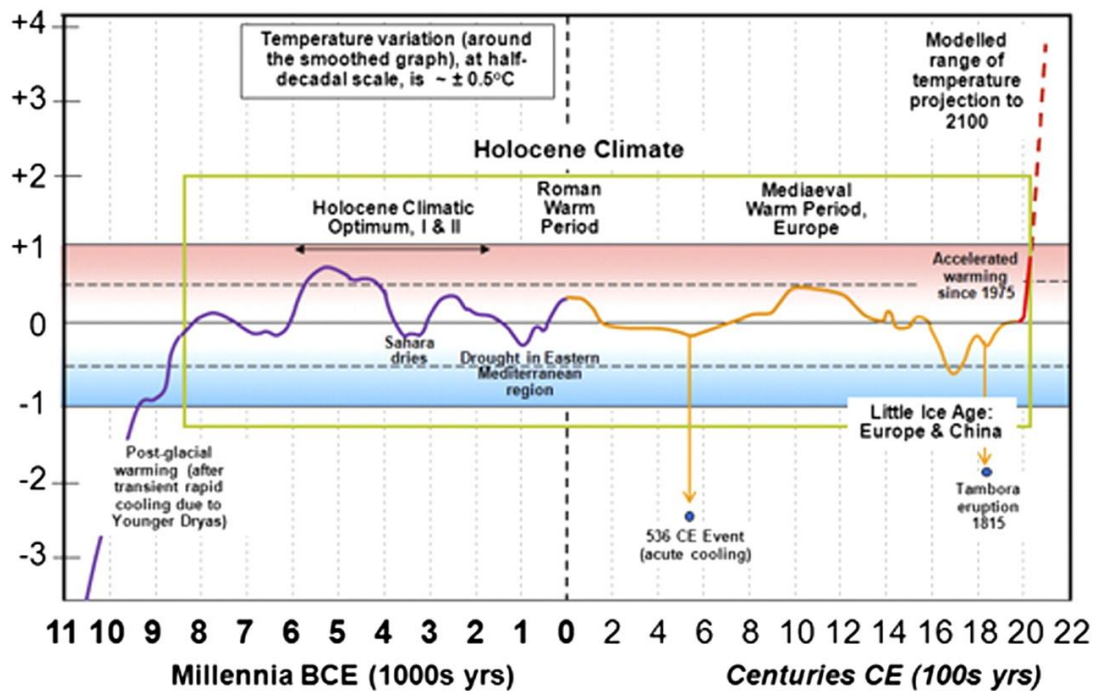
Voorbeelden van juiste grafieken staan hieronder. De getoonde grafieken laten iets meer detail zien dan leerlingen kunnen maken op basis van de aangeleverde gegevens.

Er valt te zien dat het klimaat

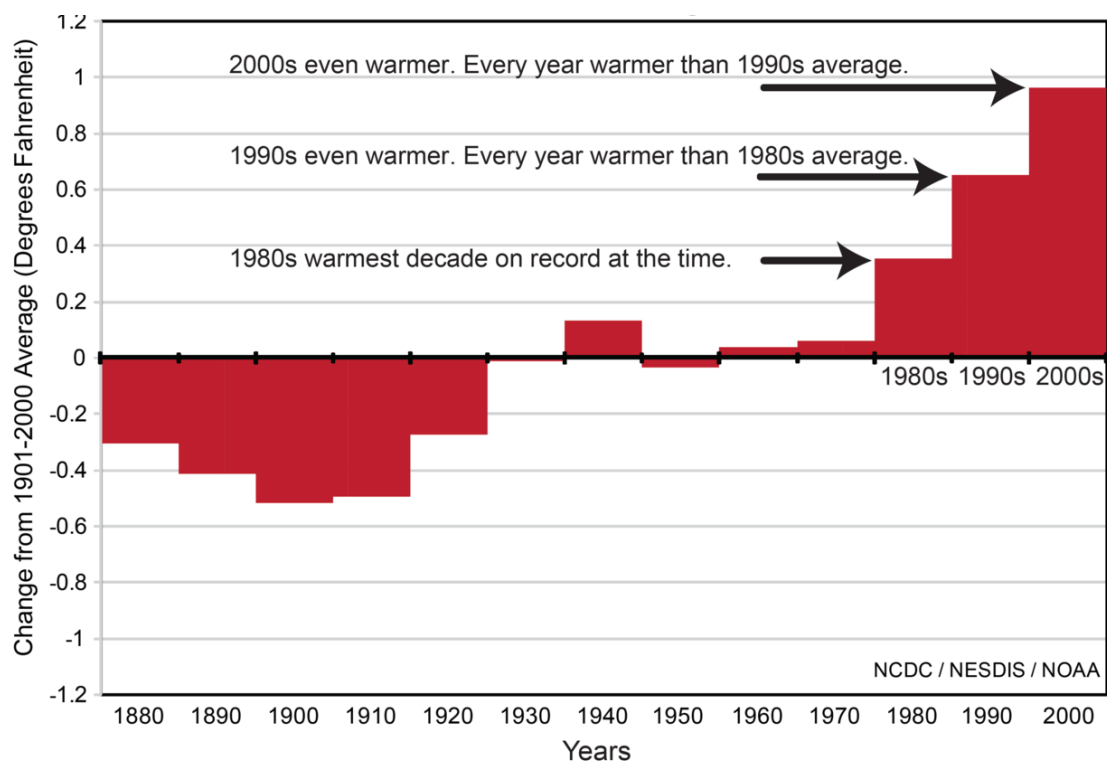
- Op lange tijdschaal (miljoenen jaren) grote schommelingen laat zien, met af en toe grote uitschieters. De temperatuur is sinds 65 miljoen jaar geleden langzaam gedaald. Rond 2,7 miljoen jaar geleden brak het Pleistoceen aan, met een afwisseling van ijstijden en tussenijstijden.
- In het Holoceen gekenmerkt wordt door een snelle opwarming. Daarna heeft het klimaat slechts relatief kleine schommelingen gekend. Die hebben wel een grote impact gehad op de mens.
- Sinds 1880 een opwarming heeft gekend. Vooral in de laatste decennia is sprake van een relatief grote opwarming.



Bron <https://wattsupwiththat.files.wordpress.com/2011/12/image29.png>



Bron <http://www.pnas.org/content/109/13/4730/F1.large.jpg>

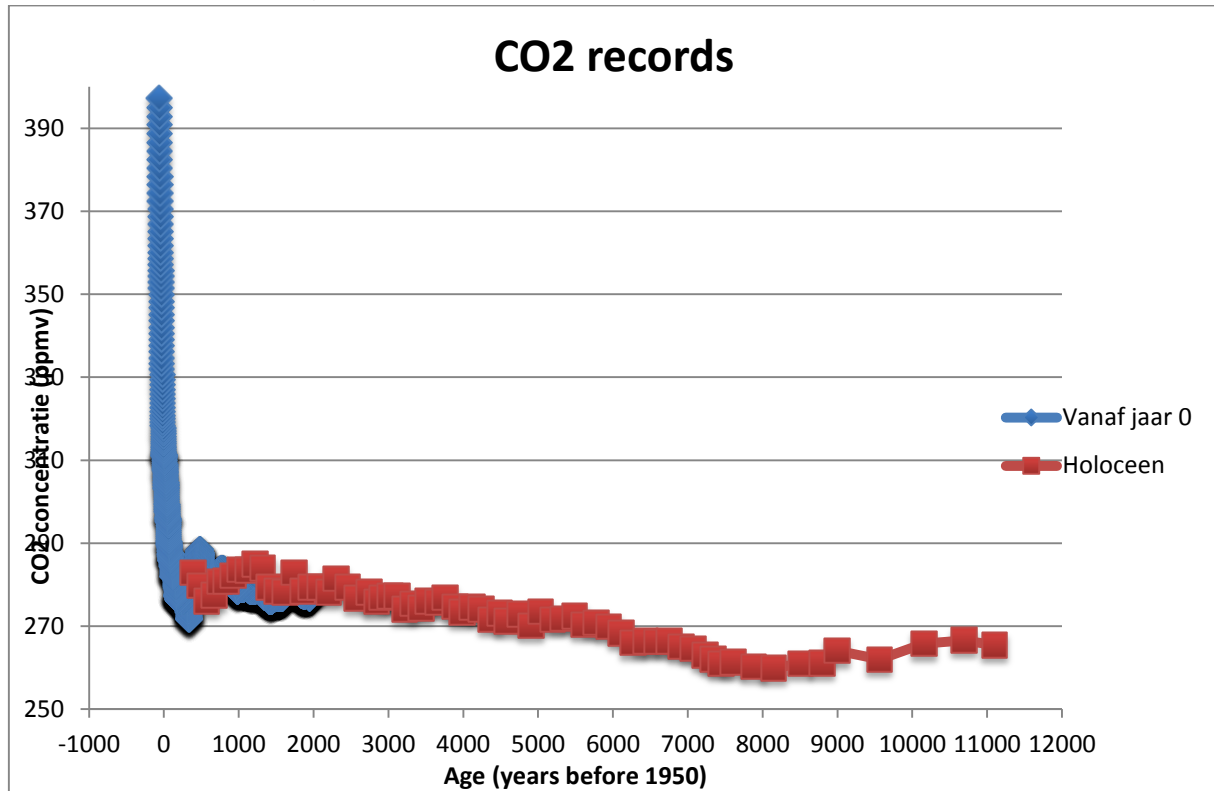


Bron NOAA, *State of the Climate in 2009*

Conclusies:

- Het klimaat kent op verschillende tijdschalen schommelingen
- Het klimaat heeft invloed gehad op de samenleving. Het ineensstorten van beschavingen en onrust viel regelmatig samen met een periode van klimaatverslechtering

Grafiek van het CO₂-gehalte



Conclusies:

- Gedurende het hele Holoceen lag het CO₂-gehalte lager dan nu het geval is;
- In de afgelopen decennia is het CO₂-gehalte heel snel gestegen;
- Gezien de relatie tussen het CO₂-gehalte en de temperatuur, kan een groot deel van de opwarming van de afgelopen decennia worden toegeschreven aan de stijging van het CO₂-gehalte.

In het najaar van 2015 werd de grens van 400 ppmV aan CO₂ overschreden.

De startopdracht moet door de docent goedgekeurd zijn, voordat de leerling verder kan met de module.

Hoofdstuk 1: de geologische tijdschaal

Opdracht 1

Er zijn vijf massa-extincties geweest (Ordovicium-Siluur, laat Devoon, Perm-Trias, Trias-Jura, Krijt-Paleogeen).

Opdracht 2

Zeer waarschijnlijk een meteorietinslag. De inslagkrater hiervan bevindt zich op het schiereiland Yucatan in Mexico.

Opdracht 3

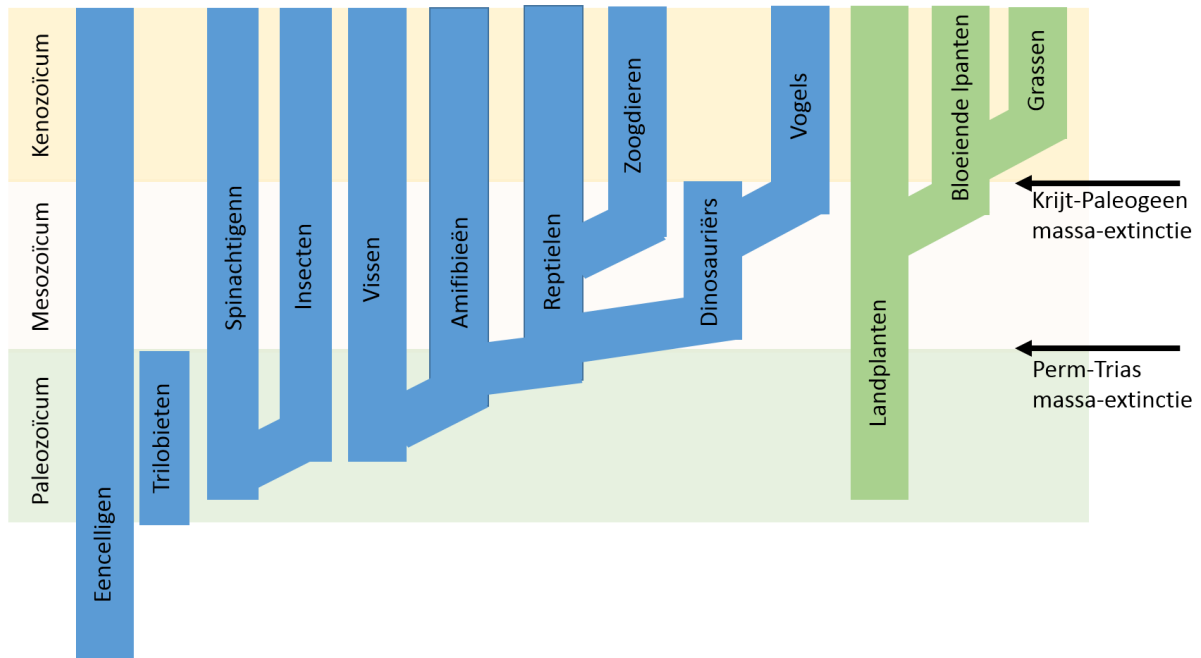
Enerzijds sterven er de laatste decennia veel diersoorten uit. Als dit doorzet kan op termijn wellicht gesproken worden van een massa-extinctie. Op dit moment is echter nog niet meer dan 60% van de diersoorten uitgestorven. Officieel is er dus nog geen sprake van een massa-extinctie.

Opdracht 4

Bij figuur A is sprake van een relatieve ouderdom omdat de ouderdom is weergegeven ten opzichte van één moment (het PETM).

Bij figuur B is sprake van een absolute ouderdom omdat deze is weergegeven in miljoenen jaren voor het heden.

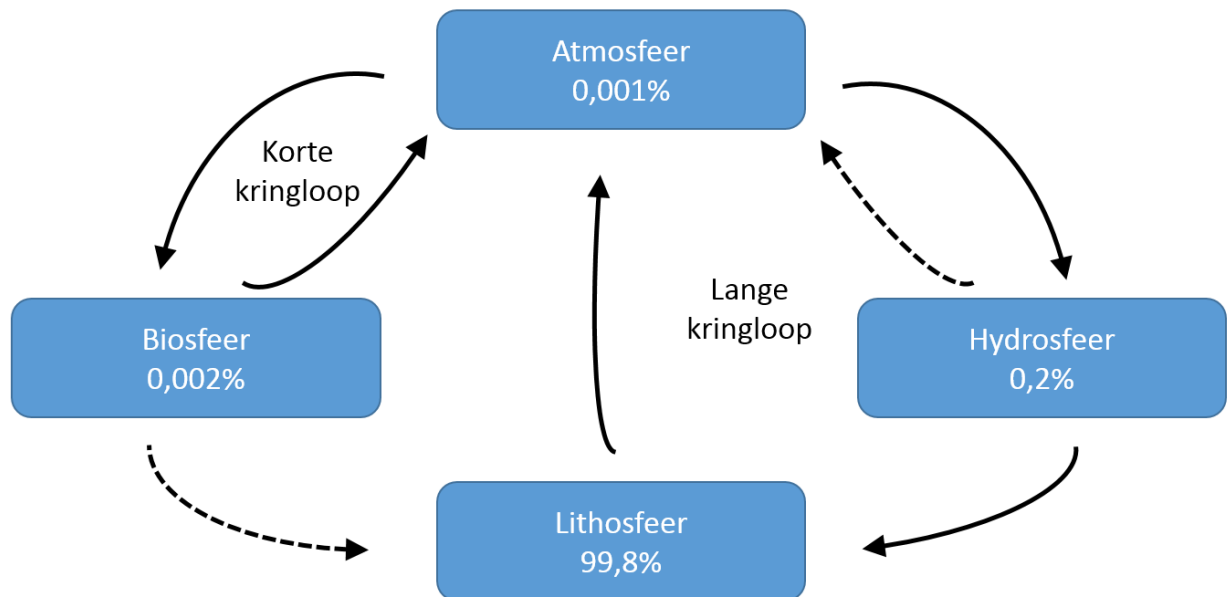
De afbeelding hieronder geeft een voorbeeld van een 'stamboom van het leven'. De Go- No go opdracht moet door de docent goed gekeurd worden voordat een leerling verder kan werken in de module. Met deze opdracht wordt gekeken of de leerling het 'globale overzicht' heeft over de geologische geschiedenis. Dat is essentieel voor de rest van de module.



Hoofdstuk 2: de koolstofkringloop en het broeikaseffect

Opdracht 1

De afbeelding hieronder geeft een schematische weergave van de koolstofkringloop en de verschillende reservoirs van koolstof.



Opdracht 2

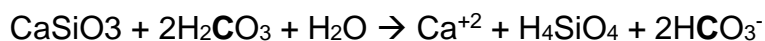
Door de verbranding van fossiele brandstoffen komt veel CO_2 vrij. Dit zal in de reactievergelijking van bron 8 leiden tot een verschuiving van het evenwicht naar rechts. Er zal meer koolstof worden vastgelegd in schaaltes. Dit zal uiteindelijk leiden tot de vorming van meer kalksteen. Dit geldt wel voor een zeer lange tijdschaal.

Opdracht 3

Stap 1: koolstofdioxide en water vormen in de bodem H_2CO_3



Stap 2: Verwering van gesteente



Stap 3: vorming van kalkschaaltjes door organismen in zee



Opdracht 4

CO₂ houdt langgolvlige straling (warmte) die wordt uitgestraald door het aardoppervlak vast in de atmosfeer. Als het CO₂-gehalte van de atmosfeer toeneemt, zal er ook meer langgolvlige straling worden vastgehouden. De gemiddelde temperatuur op aarde zal stijgen.

Mogelijke manieren waarop het CO₂-gehalte in de atmosfeer kan stijgen zijn:

- Bij vulkaanuitbarstingen kan CO₂ vrijkomen
- Methaanhyaat in permafrost of op de oceaanbodem kan vrijkomen

Opdracht 5

Op korte termijn zal door het as in de atmosfeer minder straling van de zon het aardoppervlak of de onderste laag van de atmosfeer (de troposfeer) bereiken. Hierdoor ontvang de aarde minder energie en zal de gemiddelde temperatuur op aarde afnemen.

Op lange termijn zal het CO₂ dat vrijkomt bij de vulkaanuitbarsting leiden tot een versterking van het broeikaseffect. Meer langgolvlige straling (warmte) van het aardoppervlak zal worden vastgehouden. De gemiddelde temperatuur op aarde zal stijgen.

Opdracht 6

Als er meer koolstofdioxide in de atmosfeer komt, zal het carbonaatevenwicht naar rechts verschuiven. Dit betekent dat er zuur (H⁺) vrijkomt. De oceanen verzuren dus. De diepte waarop kalkschaaltjes oplossen (de CCD) schuift dan naar boven.

Opdracht 7

Een hoog koolstofdioxide-gehalte vertaalt zich in verzuring van de oceanen. De witte kleur van kalk ontbreekt dan in de sedimenten en er zijn geen fossielen te zien.

Opdracht 8

Op de plek waar de Titanic is gezonken bevindt zich een koude zeestroom, de Labradorstroom, die water (en ijsbergen) vanaf Groenland naar het zuiden transporteert. De Titanic is op een, van Groenland afgekalfde, ijsberg gebotst.

Opdracht 9

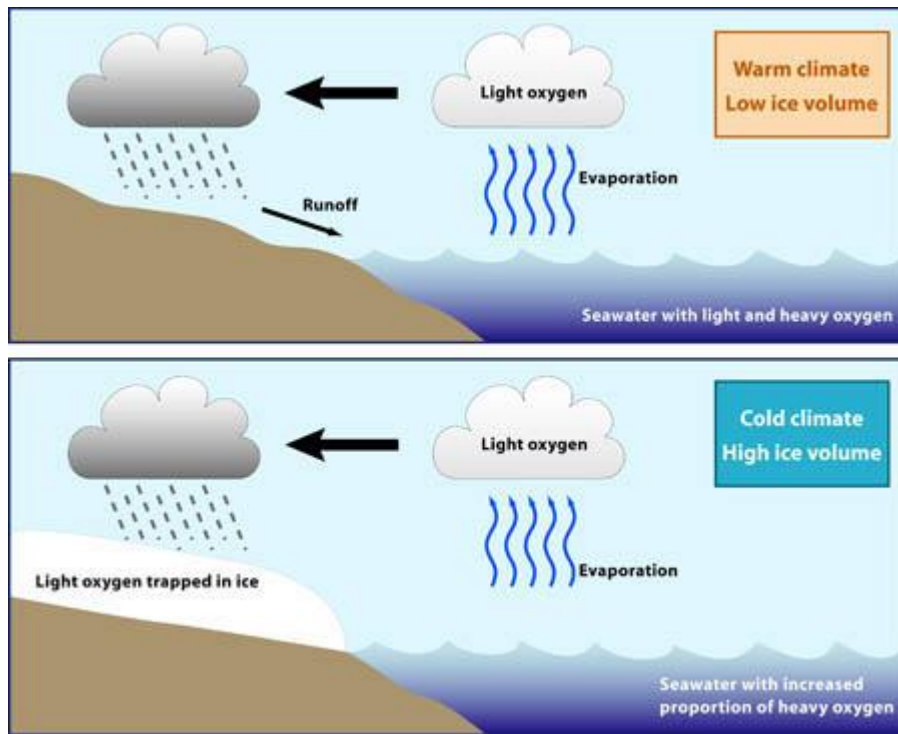
Op de zeebodem heeft gedurende lange tijd een continue opstapeling van sedimenten plaatsgevonden. De sedimenten op de zeebodem zijn bovendien vaak weinig verstoord vanwege de rustige omstandigheden op de zeebodem.

Opdracht 10

De overgang is te zien als een (rode) verkleuring in de boorkern, waar geen kalkschaaltjes zitten). Hieruit kun je concluderen dat de CCD naar boven moet zijn geschoven en dat er dus veel koolstofdioxide moet zijn vrijgekomen.

Hoofdstuk 3: de diepzee als klimaatarchief

Opdracht 1



Bron; <http://www.geo.hunter.cuny.edu/tbw>

Als ijskappen aangroeien wordt er meer 'licht' ^{16}O vastgelegd in het ijs. In het zeewater neemt dan het aandeel van het 'zware' ^{18}O toe.

Als ijskappen smelten neemt de $\delta^{18}\text{O}$ waarde van de oceanen af.

Opdracht 2

Uit de tekening moet blijken dat organismen de isotoopsamenstelling van het zeewater vastleggen in hun schaaltes. Deze schaaltes stapelen zich op de zeebodem op. Door de sedimentlagen van boven naar beneden te analyseren kan een indicatie verkregen worden van de veranderingen in de isotopensamenstelling van het zeewater door de tijd heen.

Opdracht 3

Foraminiferen nemen in warm zeewater relatief meer ^{16}O op voor het bouwen van hun kalkskelet dan in koud water. Als de temperatuur van het zeewater afneemt, wordt dus steeds meer ^{18}O ingebouwd in het kalkskelet en neemt de $\delta^{18}\text{O}$ -waarde

van het gevormde kalk toe. (Dit is een thermodynamische eigenschap veroorzaakt door het massa-verschil tussen de beide isotopen, zie eventueel Urey 1947.)

Hoofdstuk 4: klimaatverandering in het verleden

Opdracht 1

Tijdens het PETM kwam veel CO₂ vrij, dat voor die tijd was vastgelegd in methaanhyaat. Het vrijkomen van de grote hoeveelheid CO₂ leidde ertoe dat de CCD naar boven verschoof. In de diepzee was sprake van verzuring van de oceanen. Kalkskeletten of schaaltes losten op in het zure water.

Opdracht 2

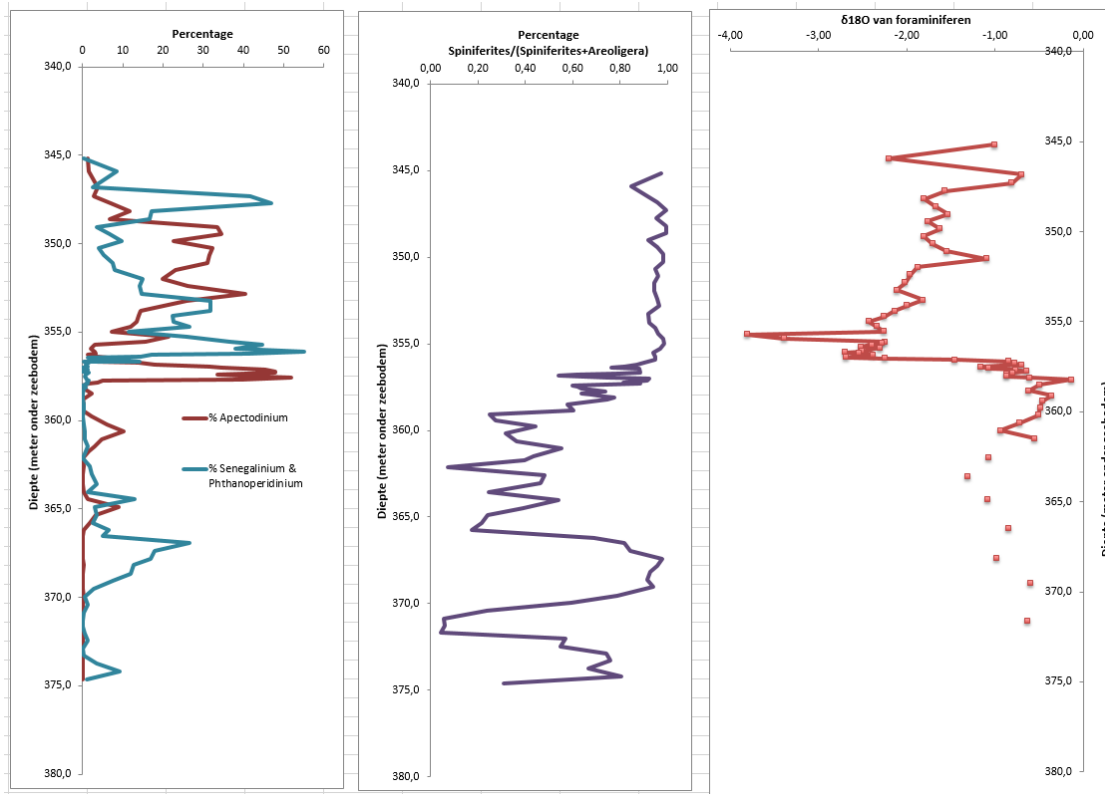
- Tijdens het PETM vond, net als nu, een stijging plaats van temperatuur en CO₂-gehalte in een, op geologische tijdschaal, zeer kort tijdsbestek;
- De abrupte temperatuurstijging in het PETM ontstond toen een grote hoeveelheid CO₂ vrijkwam uit methaanhyaat;
- Bij het stijgen van de temperatuur werd een zeker kantelpunt (tipping point) overschreden waarbij methaanhyaat instabiel werd en er veel CO₂ vrijkwam.

Opdracht 3

De uitgangssituatie verschilde. Voorafgaand aan het PETM was de gemiddelde mondiale temperatuur (en het CO₂-gehalte) al heel hoog. De huidige klimaatverandering start – op geologische tijdschaal gezien – juist vanuit een lage gemiddelde mondiale temperatuur. Ook is de huidige opwarming sneller dan die tijdens het PETM.

De grafieken hieronder geven het volgende weer:

- links en midden: percentage soorten dinoflagellaten afgezet tegen de diepte
- rechts: $\delta^{18}\text{O}$ -waarde afgezet tegen de diepte



Conclusies

Ten opzichte van *Areoligera* heeft *Spiniferites* een habitat dat zich verder van de kust af bevindt, waar ook het water dieper is. De fractie *Spiniferites*/(*Areoligera*+*Spiniferites*) geeft dus een relatieve maat voor waterdiepte, oftewel zeeniveau. Tel je 80% *Spiniferites* en 20% *Areoligera* (ratio = 0.8) in je sedimentmonster, dan was het zeeniveau toen dus hoger dan wanneer je 80% *Areoligera* en 20% *Spiniferites* (ratio = 0.2) vindt.

Het PETM is op de rechter grafiek te zien in de lage $\delta^{18}\text{O}$ -waarden. Tijdens het PETM is er een piek in de tropische alg *Apectodinium* te zien. Door de hoge temperaturen konden deze tropische soorten hun habitat destijds uitbreiden, helemaal tot aan New York.

De *Spiniferites*/(*Areoligera*+*Spiniferites*) ratio gaat omhoog tijdens het PETM: relatief zeeniveau stijgt dus.

Verder is er ook een toename in de zoet water tolerante soorten *Senegalinium* en *Phthanoperidinium*. Dit zou je kunnen linken aan meer neerslag en verhoogde zoetwater toestroom door rivieren in een warmer klimaat.

Opdracht 4

De theorie van Milankovitch stelt dat drie astronomische variabelen in bepaalde periodes (een deel van) een elkaar versterkend effect hebben. De aarde ontvangt dan minder zonne-energie dan normaal (het begin van een ijstijd) of meer zonne-energie dan normaal (het begin van een tussenijstijd).

Opdracht 5

Ten eerste lagen vóór het Pleistoceen de continenten op het noordelijk halfrond nog wat verder van de noordpool verwijderd. Er ontstond daardoor niet zo snel landijs op Canada en Scandinavië dat richting het zuiden kon gaan schuiven. Ten tweede was de CO₂ concentratie hoger, waardoor de globale temperatuur op aarde hoger was en dus minder gunstig voor de vorming van ijskappen.

Opdracht 6

In het Jonge Dryas leidde een mondiale opwarming tot een *tipping point*: de oceanische circulatie veranderde. Hierdoor werd het klimaat in West-Europa juist kouder. Dit is een mogelijk scenario voor wat er gaat gebeuren als gevolg van de huidige klimaatverandering.

Opdracht 7

De uitstroom van veel zoet water vanuit Noord-Amerika de noordelijke Atlantische Oceaan in leidde tot het stilvallen van de thermohaliene circulatie. De Golfstroom haperde en dit leidde in bijvoorbeeld Europa tot een sterke afkoeling.

Opdracht 8

- Door het samenvallen van de periodes van de Milankovitch-variabelen ontvangt het noordelijk halfrond meer zonne-energie dan voorheen.
 - ➔ de landijskappen op Noord-Amerika en Scandinavië smelten af
 - ➔ er ontstaat een groot smeltwatermeer voor de Noord-Amerikaanse ijskap
 - ➔ het smeltwatermeer stroomt in korte tijd leeg in de noordelijke Atlantische Oceaan
 - ➔ de thermohaliene circulatie wordt verstoord
 - ➔ er wordt minder warm water richting West-Europa vervoerd
 - ➔ het klimaat in West-Europa koelt af

Opdracht 9

Tijdens het Jonge Dryas vond er in West-Europa een sterke afkoeling plaats, terwijl elders juist opwarming plaatsvond. Een mondiale temperatuurstijging kan dus in het ene gebied opwarming betekenen, maar in een ander gebied afkoeling. Dat zou met de huidige klimaatverandering ook zo kunnen zijn.

Opdracht 10

Zowel het voorbeeld van het PETM als dat van het Jonge Dryas levert zeer nuttige informatie om inzicht te krijgen in de gevolgen van de huidige klimaatverandering. Enerzijds kan een tipping point bereikt worden waarbij een grote hoeveelheid CO₂ vrijkomt uit methaanhyaat en de mondiale temperatuur snel nog veel verder kan stijgen. Anderzijds kan een tipping point bereikt worden als de Groenlandse ijskap smelt en de oceaancirculatie verstoord wordt. Dit kan in de noordelijke Atlantische Oceaan mogelijk een afkoeling betekenen, terwijl elders op aarde de temperatuur juist stijgt.

Hoofdstuk 5: de eindopdracht

De eindopdracht is bedoeld om leerlingen de hoogste denkvaardigheden te laten gebruiken (evalueren, creëren). Ze moeten natuurlijk gebruiken wat ze in de module hebben geleerd, maar er is ook veel ruimte voor eigen creativiteit.

In deze module is de eindopdracht het maken van een korte documentaire. Dit is een vorm die de meeste leerlingen waarschijnlijk nog weinig hebben gebruikt. Een belangrijke deelstap op weg naar het eindproductie is het schrijven van het scenario. In deze stap zullen leerlingen enerzijds creatief moeten zijn, maar anderzijds ook met beperkingen moeten kunnen omgaan. Bovendien moeten zij het geheel binnen een relatief korte tijdsperiode kunnen maken.

Het is goed voorstelbaar dat leerlingen in hun enthousiasme snel willen gaan filmen. Toch is het van belang dat ze eerst een scenario goed uitschrijven. Dit biedt houvast tijdens het filmen, maar zorgt ook voor overzicht.

Tijdens het werken aan de eindopdracht zal de lessituatie verschillen van die in de meeste andere lessen. Dit vraagt flexibiliteit en overzicht van de docent. Het filmen zelf hoeft niet (maar kan wel) tijdens de lessen gedaan worden. Het kan ook 'huiswerk' zijn. Het schrijven van het scenario kan wel het beste in de les gebeuren omdat de docent dan kan sturen, coachen en adviseren.

Beoordeling en reflectie

Voor de beoordeling kan het formulier op de volgende bladzijde gebruikt worden. Geef leerlingen bij voorkeur zo gericht mogelijk feedback. Laat hen ook elkaar feedback geven. Laat tot slot de leerlingen reflecteren op zijn/haar eigen werk en het proces daar naartoe. Reflectie is een essentieel onderdeel van het leerproces.



