



Tipping points on ice

Docentenhandleiding

Drs. Rob Adriaens, KNAG & CSG Het Streek

Prof. dr. Michiel van den Broeke, 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: De oostkust van Groenland, foto Hannes Grobe, 1995



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. Hierin staat hetgeen leerlingen aan het eind van de module zouden moeten kennen en kunnen.
- De introductie: de docent kan hiervoor verschillende middelen gebruiken. Een filmpje van *tippingpointahead.nl*, 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.

Startopdracht

De startopdracht heeft vooral als doel om leerlingen voor de eerste keer op een praktische manier kennis te laten maken met het thema. De meeste leerlingen zullen voorafgaand aan deze module waarschijnlijk het vooroordeel hebben dat de zeespiegel stijgt omdat de poolkappen smelten. Tijdens de startopdracht komen zij erachter dat het iets gecompliceerder ligt. Laat leerlingen dit zoveel mogelijk zelf uitzoeken.

De opdracht kan in de les of thuis worden uitgevoerd. De volgende conclusies kunnen getrokken worden op basis van de startopdracht:

- Met betrekking tot de betrouwbaarheid van de meetgegevens: gezien de omvang van het experiment zijn de meetgegevens niet heel betrouwbaar. Een grotere betrouwbaarheid kan bijvoorbeeld verkregen worden door het gemiddelde van de metingen gedaan door de hele klas te nemen.
- De dichtheid van ijs is kleiner dan de dichtheid van water. Gletsjerijs dat volledig in elkaar gedrukt is heeft een dichtheid van ongeveer 900 kg/m^3 . Niet al het gletsjerijs is echter zo sterk in elkaar gedrukt. Het ijsklontje bestaat niet uit (blauw) gletsjerijs, bevat geen lucht en heeft dan ook een hogere dichtheid. Deze dichtheid is echter nog steeds kleiner dan de dichtheid van water (1.025 kg/m^3). Dit valt af te leiden uit het drijven van het ijsblokje in het water.
- Een deel van het ijsblokje steekt boven het water uit. Bij een ijsberg steekt ongeveer $1/7$ tot $1/5$ deel boven het wateroppervlak uit. Dat dit deelt varieert is afhankelijk van de dichtheid van het ijs en de firnlaag.
- Het smelten van zeeijs levert geen directe bijdrage aan het stijgen van de zeespiegel. Het waterniveau in het glas is voor en na het smelten van het ijsblokje even hoog. Indirect heeft het smelten van zeeijs wel invloed. Minder zeeijs leidt tot minder reflectie van zonnestraling en dus meer opname van zonne-energie. Minder zeeijs leidt ook tot een sterkere uitwisseling tussen oceaan en atmosfeer.
- Het smelten van dat deel van het landijs dat is gelegen boven de zeespiegel levert wel een directe bijdrage aan het stijgen van de zeespiegel. In het geval van het proefje zou je kunnen zeggen dat als er landijs smelt er extra water of een extra ijsblokje in het glas komt.

Hoofdstuk 1: Landijs op aarde

Opdracht 1

- Voor het afbeelden van de poolgebieden wordt vaak een orthografische (azimuthale) projectie gebruikt of een gnomonische projectie.
- Het voordeel van deze projecties is dat de poolgebieden bij gebruik van deze projecties minder vervormd worden weergegeven dan bij veel gebruikte projecties als de Mercatorprojectie of de projectie van Winkel.

Opdracht 2

- De omvang van Groenland en Antarctica is op veel kaarten sterk overdreven omdat die kaarten gemaakt zijn met projecties zoals de Mercatorprojectie. De meridianen worden op die projectie evenwijdig aan elkaar afgebeeld, terwijl ze in werkelijkheid allemaal samenkomen op de Noordpool en de Zuidpool. Hierdoor wordt er op kaarten die op deze manier zijn gemaakt veel land en zee 'bij verzonnen', vooral in de buurt van de polen. Bij de projectie van Winkel is dit ook – zij het in mindere mate – het geval.
- Groenland heeft ongeveer dezelfde oppervlakte als Saudi-Arabië, Sudan of de Democratische Republiek Congo.
- Antarctica heeft een oppervlakte die gelijk is aan bijna twee keer Australië. De oppervlakte van Antarctica is kleiner dan die van Rusland, maar groter dan die van het – qua oppervlakte – tweede land van de wereld, Canada. Antarctica is groter dan China en India bij elkaar.

Opdracht 3



1. Inklinking
2. Settling
3. Sintering

Opdracht 4

Groenlandse ijskap	Antarctische ijskappen
Ontstaan 37 miljoen jaar geleden, volledige vergletsjering pas vanaf 2,7 miljoen jaar geleden	Ontstaan 45 miljoen jaar geleden
Maximaal 3.200 meter dik	Maximaal 4.800 meter dik
Ijs smelt op Groenland of stroomt uit in fjorden	Ijs stroomt uit in ijsplaten
Hoekige ijsbergen kalven af	Tafelijsbergen kalven af

Hoofdstuk 2: Accumulatie en ablatie

Groenland en Antarctica in vogelvlucht

Go – no go

Voor deze opdracht hebben leerlingen het bestand tippingpointsonice.kmz nodig. Dit bestand moeten ze openen in Google Earth. In het menu 'plaatsen' kunnen ze het bestand openvouwen. Door van boven naar beneden de inhoud van dit bestand af te gaan, doorlopen de leerlingen zelf de tour.

Tijdens de tour moeten een aantal vragen beantwoord worden. De antwoorden leveren steeds een letter op.

Vraag 1: S

Vraag 2: T

Vraag 3 O

Vraag 4 O

Vraag 5 A

Vraag 6 R

Vraag 7 T

Vraag 8 A

Vraag 9 C

Vraag 10 A

Vraag 11 C

Vraag 12 I

Vraag 13 T

Vraag 14 N

Van deze letters kan het woord OOST ANTARCTICA worden gemaakt.

Hoofdstuk 3: Smeltende ijskappen en zeespiegelstijging

Opdracht 1

- a. Als de Groenlandse ijskap smelt stijgt de mondiale zeespiegel volgens onderstaande berekening met ongeveer 8 meter.
 - Inhoud oceanen $3,8 \times 3,62 \times 10^8 = 1,3756 \times 10^9 \text{ km}^3$
 - Inhoud oceanen + smeltwater Groenland $1,3756 \times 10^9 + 2,9 \times 10^6 = 1,3785 \times 10^9 \text{ km}^3$
 - Gemiddelde diepte oceanen = inhoud/oppervlak $1,3785 \times 10^9 / 3,62 \times 10^8 = 3,808 \text{ km}$
 - Zeespiegelstijging: $3,808 - 3.800 = 0,008 \text{ km} = 8 \text{ m}$
- b. Als de Antarctische ijskappen helemaal afsmelten stijgt de mondiale zeespiegel volgens onderstaande berekening met ongeveer 68 meter.
 - Inhoud oceanen $3,8 \times 3,62 \times 10^8 = 1,3756 \times 10^9 \text{ km}^3$
 - Inhoud oceanen + smeltwater Antarctica $1,3756 \times 10^9 + 24,7 \times 10^6 = 1,4003 \times 10^9 \text{ km}^3$
 - Gemiddelde diepte oceanen = inhoud/oppervlak $1,4003 \times 10^9 / 3,62 \times 10^8 = 3,868 \text{ km}$
 - Zeespiegelstijging: $3,868 - 3.800 = 0,068 \text{ km} = 68 \text{ m}$

Opmerking: bij deze berekeningen is geen rekening gehouden met het verschil in dichtheid van gletsjerijs en water en met het feit dat een deel van de ijskappen beneden de zeespiegel is gelegen.

Opdracht 2

- a. De aardkorst in Canada en Scandinavië komt omhoog doordat de aardkorst 'opveert' als gevolg van het afsmelten sinds de laatste ijstijd van de ijskap daar.
- b. Bij het indrukken ontstaat een kuil onder de ijskap maar juist heuvels ter weerszijden van de ijskap. Bij het terugveren verdwijnen deze weer. Dit laat de bodem ook dalen in Nederland, dat in de vorige ijstijd juist op zo'n heuvel lag. Zie bv. <http://www.antarcticglaciers.org/glaciers-and-climate/sea-level-rise-2/recovering-from-an-ice-age/>

Opdracht 3

De factoren en de wijze waarop zij de opwarming in de poolgebieden zo duidelijk merkbaar maken zijn:

- De sneeuw-/ijsbedekking: als deze vermindert, neemt het aardoppervlak meer zonne-energie op.

- In de poolgebieden is relatief weinig uitwisseling tussen lucht aan het oppervlak en de bovenlucht. Daardoor warmt de lucht aan het oppervlak relatief snel op.
- In de poolgebieden is veel zeeijs. Als een deel hiervan smelt kan er meer uitwisseling plaatsvinden tussen oceaan en atmosfeer.

Opdracht 4

De absolute temperatuurmetingen van de afgelopen 150 jaar zijn te kort om een goed beeld te krijgen van de schommelingen in het klimaat. Die schommelingen spelen zich namelijk ook af op langere tijdschalen.

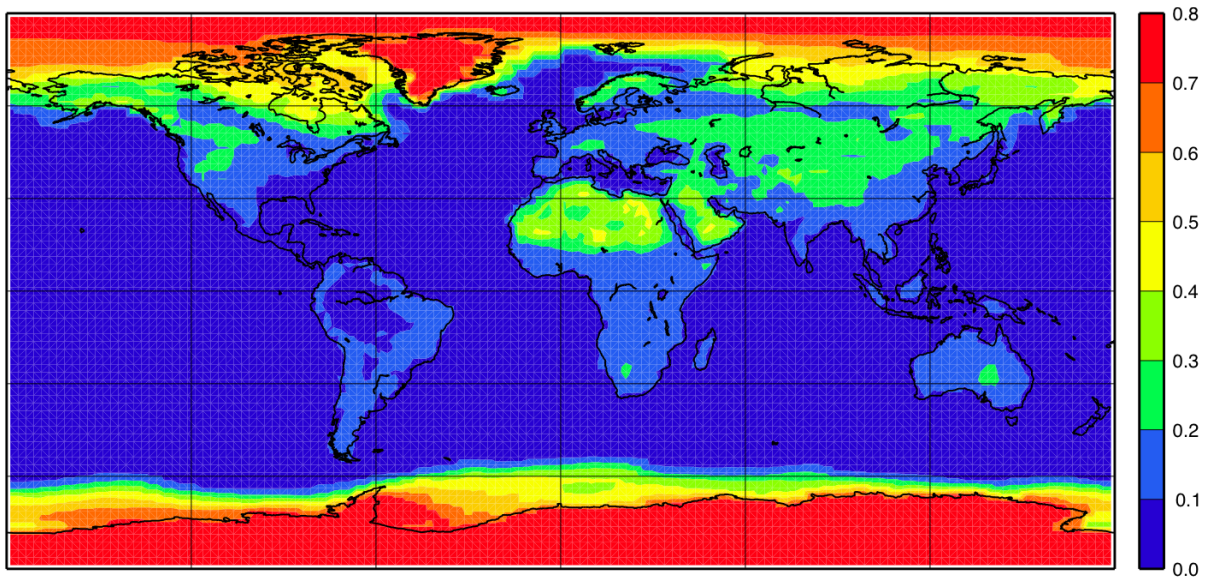
Veldwerkopdracht Albedo

Go – No go

De meetgegevens, kleurenschaal en wereldkaart kunnen vergeleken worden met onderstaande gegevens

Type oppervlak (zonder wolken)	Albedo	Aardbedekking (%)
Water	0.1	71.35
Naaldbos	0.13	2.11
Loofbos	0.18	4.04
Lage begroeiing	0.22	5.66
Savanne	0.18	3.69
Gras	0.23	2.07
IJs en sneeuw	0.7	3.23
Landbouwgrond	0.19	3.86
Bebouwing, brak land, overige	0.2	3.99

Een kaart van gemiddelde jaarlijkse albedo van de aarde staat op de volgende pagina.

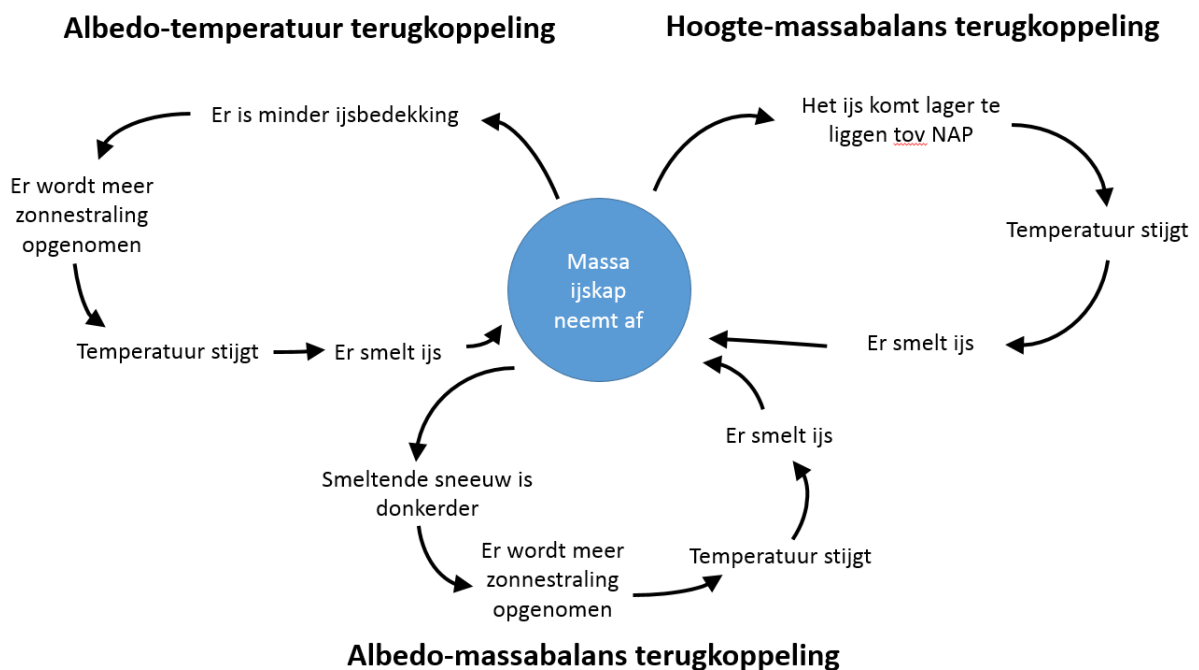


Opdracht 5

Aan de randen van de Groenlandse ijskap vindt smelt plaats, waardoor de hoogte afneemt. Meer in het midden van de ijskap is er geen hoogteverandering of neemt de hoogte zelfs iets toe. De toename is te verklaren doordat een warmere atmosfeer meer waterdamp kan bevatten. Hierdoor kan de neerslag toenemen.

Opdracht 6

In onderstaand schema zijn de twee terugkoppelingen uit de tekst weergegeven plus nog een derde terugkoppeling: de albedo-massabalans terugkoppeling.



Opdracht 7

Antarctische ijskappen

Massaverlies -	Massawinst +
Afkalven van ijsplaten door hogere temperatuur oceaan	Toename van de sneeuwval als gevolg van minder koude lucht
Versneld afstromen van gletsjers	
Afname hoogte West-Antarctische ijskap, waardoor temperatuur toeneemt en ijs smelt, diverse positieve terugkoppelingen	
Toename temperatuur leidt tot smelt op Antarctisch Schiereiland, diverse positieve terugkoppelingen	

Groenlandse ijskap

Massaverlies -	Massawinst +
Toename temperatuur leidt tot smelt aan de randen van de ijskap	Toename van de sneeuwval als gevolg van minder koude lucht
Afname hoogte ijskap, waardoor temperatuur toeneemt en ijs smelt	

Een infographic maken

Go-No Go

Dit is voor veel leerlingen een moeilijke opdracht. Deze opdracht doet een beroep op de hoge denkvaardigheden analyseren en creëren. Leerlingen moeten eerst een goede dataselectie maken. Dit lijkt moeilijk, maar de opdracht en de module tot zover sturen leerlingen wel sterk in de richting van de massabalans van een ijskap. Een origineel plan maken voor een *infographic* is wel een lastige stap. Hier zal de docent goed in de gaten moeten houden dat de *infographic* niet overvol wordt of juist erg simplistisch.

Een extra dimensie kan aan een *infographic* worden toegevoegd door deze interactief te maken. Dit kan vrij eenvoudig via bijvoorbeeld thinglink.com.

Het is goed om leerlingen van tevoren wat voorbeelden van *infographics* te laten zien. Voorbeelden zijn bijvoorbeeld te vinden op:

<http://www.freepik.com/free-photos-vectors/infographic>

<http://www.peppermintmedia.nl/oppepper/5-tips-voor-een-interactieve-infographic/>

<http://www.seozwolle.nl/voorbeelden-interactieve-infographics.html>

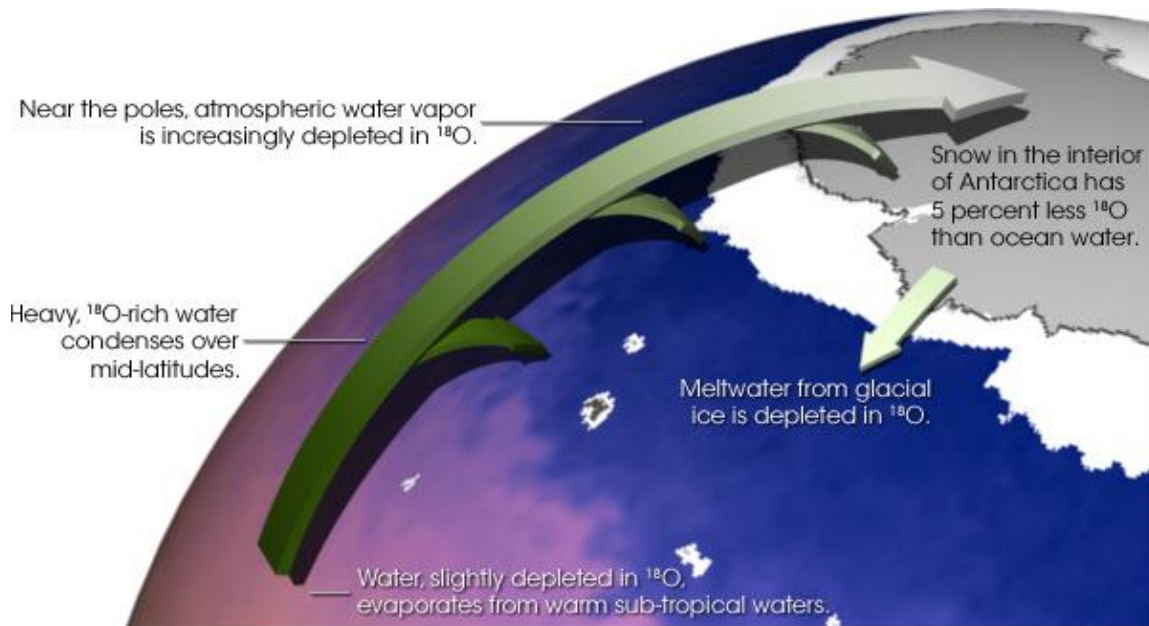
Hoofdstuk 4: Landijs als klimaatarchief

Opdracht 1

Voordelen van het plaatsen van een boring in het midden van een ijskap (op een dome) zijn:

- De ijskap is hier het dikst en de jaarlagen het dunst (weinig neerslag)
- Sneeuwlagen minder verstoord door wind en/of sublimatie
- De ijslagen zijn horizontaal op elkaar gestapeld en minder sterk door stroming van het ijs beïnvloed dan ijs dat zich meer aan de rand van de ijskap bevindt.
- Midden op een ijskap kan de langste *record* gemaakt worden.

Opdracht 2



Bron: http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Paleoclimatology_OxygenBalance/

Het gehalte van het zware ^{18}O -isotoop neemt af als waterdamp getransporteerd wordt van de oceaan richting de ijskappen. Er condenseert namelijk vooral veel ^{18}O . Het ijs bevat daardoor relatief weinig ^{18}O en veel ^{16}O . Tijdens een ijstijd is dit effect sterker dan tijdens een tussenijstijd. Tijdens een tussenijstijd is de temperatuur vaak nog zo hoog dat tijdens het transport naar de ijskap niet een heel groot deel van het ^{18}O 'uitregent'. Tijdens een ijstijd gebeurt dit meer, omdat er meer afkoeling plaatsvindt onderweg van brongebied naar ijskap.

Op deze manier kan uit de verhouding $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ in luchtbellen in het ijs worden afgeleid wat het temperatuurverschil tussen brongebied en ijskap was, en dit is een goede maat voor de 'echte' temperatuur. Zo kan worden bepaald of er sprake was van een ijstijd of een tussenijstijd op het moment dat de luchtbellen in het ijs werden afgesloten van de atmosfeer.

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 eindproduct 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 pagina gebruikt worden. Het formulier geeft per onderdeel een aantal aandachtspunten voor de beoordeling. Het proces richting het eindproduct wordt in de beoordeling meegenomen. Het is dus zaak voor de docent om goed zicht te houden op de voortgang van leerlingen in de module. Hoewel administratie beslist geen doel op zich is, is het toch verstandig om af en toe wat observaties op te schrijven. Je observaties kun je gebruiken om je oordeel te illustreren met concrete voorbeelden. Wanneer was er bijvoorbeeld sprake van een goede samenwerking en wanneer niet? Bij welke opdrachten hadden de leerlingen veel hulp nodig van de docent voor ze de opdracht konden maken en welke opdrachten voerden ze zelfstandig uit.

Naast het eindproduct wordt ook aan twee belangrijke tussenproducten in de module een beoordeling toegekend: de *infographic* en het veldwerk. Het maken van een *infographic* doet een beroep op veel vaardigheden van leerlingen. Leerlingen moeten analyseren, samenvatten, hoofd- en bijzaken van elkaar onderscheiden en een tastbaar product creëren.

Het veldwerk doet deels een beroep op andere vaardigheden. Hier is gestructureerd en taakgericht werken van belang en er moet een transfer gemaakt worden van de meetgegevens naar een kaart.

Uiteraard is het eindproduct het belangrijkste onderdeel in de beoordeling. De hele module komt eigenlijk terug in het eindproduct. Leerlingen moeten met het scenario en de documentaire laten zien dat ze over ruim voldoende kennis over de ijskappen beschikken én ze moeten dit kunnen omzetten in een creatief product

Geef leerlingen bij de beoordeling bij voorkeur zo gericht mogelijk feedback. Laat hen ook elkaar feedback geven. Dat stimuleert het kritisch denken en leert leerlingen dat er meerdere wegen zijn waarop de opdracht kan worden bewandeld. Laat leerlingen tot slot reflecteren op hun eigen werk. Reflectie is een essentieel onderdeel van het leerproces.

