

IJs en Klimaat

Een module voor 6-vwo

In de krant kun je lezen: 'De ijskappen smelten! De opwarming van de aarde leidt tot een stijging van de zeespiegel. Nederland komt onder water.' Wat is hiervan waar en hoe weten we dat? De module *IJs en Klimaat* geeft antwoorden op vragen als: hoe beïnvloedt de aanwezigheid van ijs het klimaat op aarde en hoe kunnen we ijsboringen gebruiken om het klimaat uit het verleden te reconstrueren?

- **Ton van der Valk / JCU, Universiteit Utrecht**
Michiel van den Broeke / IMAU, Universiteit Utrecht

De module *IJs en Klimaat* gaat over de natuurwetenschappelijke basis van het klimaatprobleem. In 2007 bracht het *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) zijn vierde rapport uit. In de afgelopen tijd is veel te doen geweest over

toegevoegd om ontbrekende voorkennis aan te vullen.

Korte beschrijving van de module

De module bestaat uit twee basishoofdstukken en twee keuzehoofdstukken en een kort afrondend hoofdstuk. In hoofdstuk 1 *de cryosfeer* leren de leerlingen over vormen van ijs en hun eigenschappen. De cryosfeer bestaat uit al het natuurlijke ijs: rond de Noordpool en de Zuidpool, in gletsjers, in de permafrost en de seizoenssneeuw. Al dat ijs kent een jaarlijkse gang van aangroei door sneeuwval en rijpvorming en afname door smelten en sublimeren. In gletsjers en ijskappen stroomt het ijs langzaam van hoog naar laag en aan de zeerand van een ijsplaat vindt afkalving plaats. Je kunt voor een bepaalde plek de massabalans opstellen: het verschil tussen de hoeveelheid ijs die er jaarlijks bijkomt en afgaat. Is de mas-

abalans van een ijskap nul, dan wordt de ijskap niet groter of kleiner.

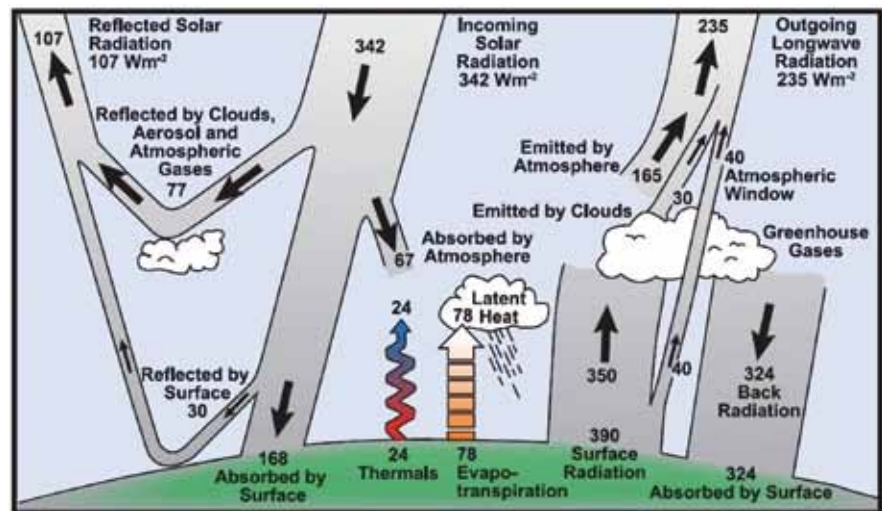
Hoofdstuk 2 gaat over de invloed van ijs op het klimaat op aarde. Het aardoppervlak en de atmosfeer absorberen de energierijke kortgolvlige straling van de zon en zenden zelf langgolvlige warmtestraling uit. De stralingsbalans in het systeem aarde-atmosfeer wordt vooral bepaald door:

- de mate waarin zonlicht door de aarde wordt gereflecteerd (albedo). Droge sneeuw en wolken weerkaatsen sterk (albedo 0,8) water daarentegen weerkaatst relatief weinig (albedo <0,1);
- de mate waarin de langgolvlige straling die de aarde uitzendt, in de atmosfeer wordt geabsorbeerd of teruggekaatsd, dan wel naar de ruimte wordt uitgestraald. In een practicum kunnen leerlingen met albedometers² van het IMAU het albedo van diverse oppervlakken bepalen.



De voorkant van de module *IJs en Klimaat*.

deelrapport 2 waarin de consequenties van de stijging van het CO₂-gehalte van de atmosfeer en van de gemiddelde temperatuur op aarde werden doorgetrokken naar de toekomst. Maar deelrapport 1 *The Physical Science Basis* is onomstreden. De module is ontwikkeld vanuit het Instituut voor Marien en Atmosferisch onderzoek (IMAU) van de Universiteit Utrecht in het kader van het *International Polar Year* (2007/08). De module werd getest op het Junior College Utrecht (JCU) en op enkele JCU-partnerscholen. Op grond van de ervaringen zijn onder meer appendices



Energiefluxen in het systeem aarde-atmosfeer, gemiddeld over het jaar en de aarde. Alle getallen zijn in W/m². Links de kortgolvlige (zonne)straling; rechts de langgolvlige (warmte)straling; in het midden: turbulente stromen van voelbare en latente warmte. Bron: IPCC (2007).

Op Antarctica is een negatieve stralingsbalans: er wordt gemiddeld over een jaar meer energie aan langgolvlige straling uitgezonden dan er aan zonlicht wordt geabsorbeerd. Dat energietekort op de polen wordt aangevuld door rijpvorming (latente warmte) en door de zogeheten katabatische winden die op Antarctica heersen: op sommige plaatsen is het jaargemiddelde windsnelheid meer dan 18 m/s (windkracht 8)!

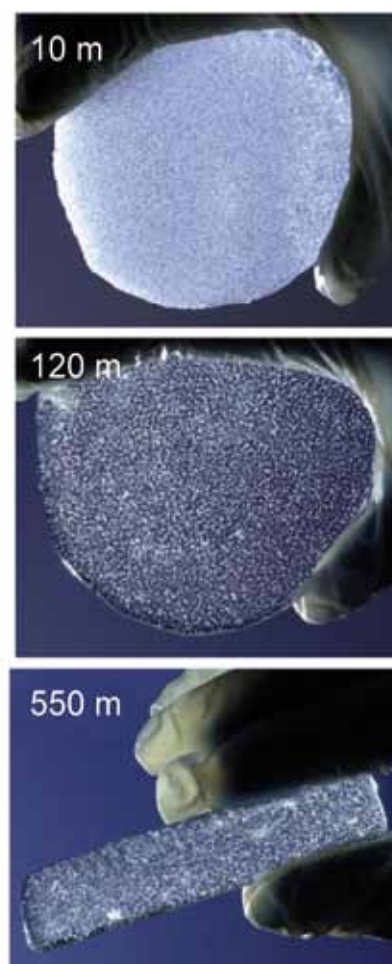
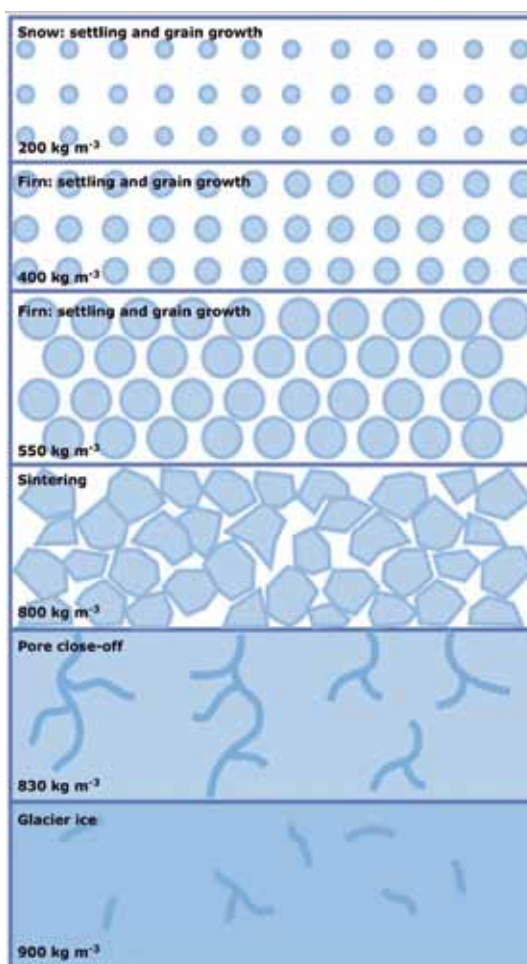
Als de energiebalans boven een ijskap tijdelijk positief is, komt er meer energie binnen dan eruit gaat. Eerst zal de ijskap opwarmen tot het smeltpunt en dan gaan afsmelten. Daardoor kan het albedo afnemen omdat er meer water of rotsen onder de ijskap uitkomen, wordt er meer zonnestraling geabsorbeerd en gaat de opwarming sneller. Dan kan er een wederzijdse versterking optreden, een zogenaamde positieve terugkoppeling, met alle gevolgen voor het klimaat.

Hoofdstuk 3 gaat over de vraag hoe we ijs uit de ijskappen van Groenland en Antarctica kunnen gebruiken om het klimaat uit het verleden te reconstrueren.

Op een ijskap groeit de hoeveelheid ijs aan door de sneeuw die erboven valt. Door de toenemende druk onder de sneeuwlagen groeien de ijskristallen aan elkaar. Sneeuw gaat over in firn. Op een zekere diepte (de firn-ijsovergang) worden de luchtkanaaltjes naar boven afgesloten en zit de lucht opgesloten als luchtbellen in het ijs.

Met boringen wordt ijs uit de diepte omhoog gehaald: hoe dieper het ijs lag, hoe langer geleden het als sneeuw is gevallen. Bij heel diepe boringen op Antarctica (tot meer dan drie kilometer) kan men wel 400.000 jaar in de tijd terug gaan. In de module worden verschillende dateringsmethoden behandeld.

Met een 'isotopenthermometer' kan de temperatuur tijdens de depositie van de sneeuw bepaald worden. Bij verdampen boven zee (tussen 20 en 0 °C) en de sneeuwvorming boven een ijskap (tussen -20 en -40 °C) vindt isotopenfractiëring plaats. Watermoleculen met zware isotopen zoals ^2H (deuterium) en ^{18}O in hebben bij dezelfde temperatuur een lagere gemiddelde snelheid



De verandering van sneeuw via firn naar gletsjerijs. Links: schematisch de veranderingen met toenemende diepte; rechts: foto's van sneeuw en ijs op drie dieptes. Bron: IMAU.

en zullen daardoor makkelijker samen condenseren dan lichtere watermoleculen. Uit de verhouding tussen deuterium en gewoon waterstof in het ijs en uit de verhouding tussen de $\text{O}18$ - en $\text{O}16$ -isotopen kan men de temperatuur bij sneeuwvorming afleiden: isotopenthermometer. In die metingen zijn ijstijden en interglacialen duidelijk te herkennen.

Uit de samenstelling van de luchtbeltjes kan men de concentratie van stoffen als CO_2 bepalen op het moment dat de firn-ijsovergang plaatsvond.

een toename van de CO_2 -concentratie in de atmosfeer vooraf ging aan een warme periode en er sprake was van positieve terugkoppeling. Bij hoofdstuk 3 hoort een practicum 'ijskernen'. Aan de hand van onder meer de grootte van de luchtbellen in het ijs kunnen leerlingen zelf informatie verzamelen over de ouderdom van het ijs en over de omstandigheden waaronder het ijs is gevormd. Stukjes van ijskernen worden door het IMAU beschikbaar gesteld aan scholen die dit practicum doen³.

Men krijgt steeds meer aanwijzingen dat een temperatuurverhoging in het verleden steeds vooraf werd gegaan door een toename van de CO_2 -concentratie

Daarbij blijkt dat de concentratie CO_2 in de lucht steeds hoog was in warme klimaatperiodes. Men krijgt uit allerlei bronnen steeds meer aanwijzingen dat

Hoofdstuk 4 gaat over de huidige mondiale temperatuurstijging, veranderingen in de omvang van de ijskappen en de mogelijke invloed van menselijk

handelen. Mogelijke terugkoppelingsmechanismen komen aan de orde: minder terugkaatsing van zonlicht door afname van zeeijsoppervlakte, veranderingen in zeestromingen door smeltwaterstromen. Enkele manieren om de snelheid van het afsmelten van zeeijs en ijskappen te bepalen worden behandeld. De stijging van de zeespiegel hangt via uitzetting ook

interessant, actueel en goed te volgen. Zij stelden de practica en de mooie PowerPointplaatjes erg op prijs. Ze signaleerden wel dat er een probleem was met de aansluiting op de voorkennis en ze misten opdrachten die noopten tot het bestuderen van de tekst. Op deze punten werd het lesmateriaal bijgesteld: door meer opdrachten bij de tekst en door appendi-

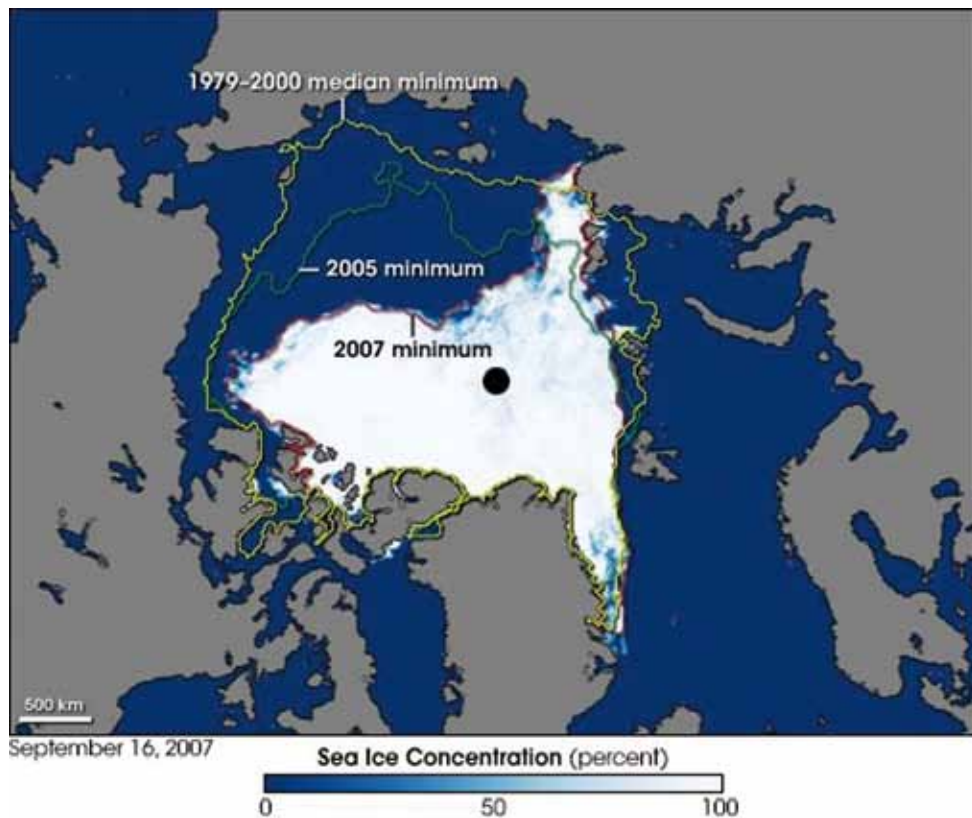
sante en actuele tak van wetenschap. Dat maakt de module heel geschikt voor nlt: hij is in maart 2010 gecertificeerd voor vwo-domein C: Aarde en Klimaat.

Het is ook mogelijk de module in te passen in het vrije deel van het vak natuurkunde. Een docent kan beschikken over het (elektronische) docentmateriaal: Powerpointdia's, uitkomstenboekje en docentenhandleiding.

De module is zeer geschikt voor leerlingen die het NT-profiel volgen. Hij is ook interessant voor leerlingen met een NG-profiel, maar dan moet een selectie gemaakt worden van de opdrachten en teksten uit het leerlingboek. De docentenhandleiding⁴ geeft daarvoor aanwijzingen.

Noten

1. Ijs en Klimaat. Te downloaden van www.betavak-nlt.nl > gecertificeerde modules.
2. en 3. Het gebruik van albedometers en stukken ijskern kan worden aangevraagd bij het BètaSteunpunt Utrecht via <http://www.betasteunpunt-utrecht.nl/>; e-mail: info@betasteunpunt-utrecht.nl.
4. Toegang tot het docentmateriaal kan worden aangevraagd via jcu@uu.nl.



De afname van het zeeijs rond de Noordpool. Minimum zeeijsbedekking in 2005 (groene lijn), in 2007 (rode lijn) en mediane waarde voor 1979-2000 (gele lijn). Bron: NSIDC.

samen met de toename van de gemiddelde zeewatertemperatuur. Hoofdstuk 5 is een kort hoofdstuk, waarmee beoogd wordt de verkregen kennis uit de module te gebruiken in een kritische discussie over de klimaatproblematiek. Bestaat de klimaatproblematiek wel? Dragen menselijke activiteiten bij aan de globale temperatuurstijging van de laatste decennia? Wat zijn de argumenten van doemdenkers en 'klimaatontkenners'? Stevenen we af op een point of no return?

Leerlingen en docenten over de module

De module werd op het JCU gegeven door de hoofdauteur. Vervolgens werd de module getest door docenten van drie partnerscholen van het JCU. De JCU-leerlingen vonden de module

ces met aanvulling van voorkennis. De testscholen merkten dat de module een flinke diepgang heeft, en pas goed te doen is eind klas 5-vwo of in klas 6-vwo. De docenten ervoeren ook dat zij soms ervoor moeten kiezen een opgave vanwege zijn complexiteit over te slaan of alleen door de meest geïnteresseerde leerlingen te laten maken. Zij vonden de appendices handig en verwezen hun leerlingen er vaak naar. Hun leerlingen vonden het een interessante module, die hen uitdaagde zich te verdiepen in een wetenschapsgebied dat ze nog niet kenden.

Ijs en Klimaat in uw klas?

De module brengt begrippen uit de natuurkunde, de aardrijkskunde (meteorologie en oceanografie) en de scheikunde bij elkaar. Hij geeft inzicht in een interes-

✦ **Ton van der Valk**
is curriculumcoördinator van het Junior College Utrecht (JCU, www.uu.nl/jcu) en onderzoeker bij het FIsme (www.fisme.uu.nl). Hij heeft meegewerkt bij het ontwikkelen van deze module.



✦ **Michiel van den Broeke**
is als hoogleraar Polaire Meteorologie verbonden aan het IMAU van de Universiteit Utrecht (www.uu.nl/imau) en is de hoofdauteur van de module Ijs en Klimaat.

