

SCIENCE connection

50

maart - april 2016

HET KLIMAATONDERZOEK IN BELGIË

www.scienceconnection.be
verschijnt vijfmaal per jaar
afgiftekantoor:
Brussel X / P409661
ISSN 1780-8448



onderzoek



ruimte



natuur



kunst



documentatie

Federiaal Wetenschapsbeleid



belspo .be

Het magazine van het FEDERAAL WETENSCHAPSBELEID

Editoriaal

KLIMAATAKKOORD

Op zaterdag 12 december 2015 is in Parijs een klimaatakkoord afgesloten. Het belang van dit akkoord kan moeilijk overschat worden. Het zal zorgen voor minder CO₂-uitstoot, voor zuiverder lucht en properder water, voor een minder snelle stijging van de zeespiegel, voor een verbetering wereldwijd van de volksgezondheid, voor duurzame economische groei en op termijn voor stabiliteit en verhoogde veiligheid.

De onderhandelingen om tot dit akkoord te komen duurden lang en verliepen moeizaam. Het is nu zaak zo snel mogelijk de implementatie te starten, voordat de grond ons – letterlijk – te warm onder de voeten wordt. Hoe sneller het akkoord succesvol wordt uitgevoerd, hoe sterker de impact en hoe groter de voordelen.

Om van 'Parijs' in de feiten een succes te maken, zijn geloofwaardigheid en duurzaamheid essentieel. Om die geloofwaardigheid te garanderen, moeten de monitoring-mechanismen die in het akkoord van Parijs zijn opgenomen, ook effectief worden toegepast. Alleen zo biedt het akkoord daadwerkelijk een antwoord op de snel toenemende impact van de klimaatwijziging op het leven op aarde. In dit kader wil ik verwijzen naar de voortrekkersrol die het Belgische Wetenschapsbeleid, met de aanzienlijke steun van de Vlaamse en Waalse overheid, heeft gespeeld bij de oprichting van het *ICOS-ERIC*¹, een nieuwe pan-Europese onderzoeksinfrastructuur die langetermijnmetingen van broeikasgassen levert. Het onderzoeksnetwerk staat garant voor het continu aanleveren van gestandaardiseerde datareeksen over een periode van twintig jaar. Langetermijnmonitoring van broeikasgassen is absoluut noodzakelijk voor het begrijpen van de koolstofcyclus en het voorspellen van het toekomstige klimaat.

Bij de publieke opinie moet het besef blijven toenemen dat de klimaatopwarming meer is dan die occasionele hittegolf in de zomer of die zachte winter. Het is een fenomeen dat een diepgaande invloed heeft op de wereld en zijn bewoners. Het fenomeen is mee door menselijk handelen veroorzaakt. Enkel menselijk handelen kan het ten goede keren. Wetenschappers en politici moeten het signaal geven dat een *duurzame* CO₂-arme verandering van de globale economie onvermijdelijk, noodzakelijk, maar ook efficiënt is.

Het Akkoord van Parijs is niet het eindpunt. Het is niet het plafond van onze ambities inzake lage uitstoot, maar het fundament. Alle volkeren ter wereld en de komende generaties rekenen op onze visie en moed.



Elke Sleurs

Staatssecretaris voor Wetenschapsbeleid

¹ Integrated Carbon Observation System – European Research Infrastructure Consortium.

ONS KLIMAAT VERANDERT, HET ONDERZOEK IS ONMISBAAR!

Dit nummer van *Science Connection* is grotendeels gewijd aan de klimaatverandering. Het is immers noodzakelijk om de schijnwerpers te richten op de talrijke onderzoeksdomeinen en de lopende projecten in verband met klimaatverandering, een onderwerp dat zo belangrijk is voor de toekomst van onze planeet aarde. Dit klimaatvraagstuk is het onderwerp van uitgebreid studie- en onderzoekswerk dat met federale middelen wordt gefinancierd niet alleen in de federale wetenschappelijke instellingen (FWI's) maar ook in de uitstekende Belgische universiteiten.

De internationale media-aandacht en de publieke belangstelling voor en na het afsluiten van het Parijse klimaatakkoord benadrukken de maatschappelijke relevantie van deze problematiek die terecht als een van de grootste toekomstige uitdagingen voor de mensheid wordt omschreven. Hoewel de meeste aandacht toen uitging naar het bereikte klimaatakkoord en de aanwezigheid van alle regeringsleiders te Parijs, moet het grote enthousiasme ons blijvend doen waken over de goede uitvoering ervan.

Maar ook mag in geen geval worden vergeten dat het eigenlijke onderzoek in België in de universiteiten en in de FWI's-misschien minder zichtbaar maar waarvan de deskundigheid en de resultaten internationaal worden erkend-in belangrijke mate heeft bijgedragen aan de vooruitgang die werd geboekt in deze problematiek.

Tegelijkertijd moeten we vaststellen dat veel competenties en onderzoeksvelden in ons land nog te veel versnipperd zijn. Een grotere multi- en interdisciplinariteit zou de beleidsmakers, de private en de publieke actoren nog betere klimaatgegevens kunnen aanreiken. Zij moeten immers de kwetsbaarheid van onze samenleving voor klimaatverandering begrijpen en de bevindingen van het onderzoek omzetten in resultaatgerichte acties.

De trouwe lezers van *Science Connection* weten zeer goed dat het Federaal Wetenschapsbeleid (BELSPO) al heel vroeg het klimaatonderzoek onderschreef en ondersteunde. Het bevorderde samenwerkingsverbanden en de vorming van netwerken en bleef studies over klimaatverandering op de wetenschappelijke agenda in België plaatsen. In dit verband wens ik nogmaals de onderzoekers, de onderzoeksteams en de experts aan de universiteiten en in de FWI's te feliciteren met hun geboekte onderzoeksresultaten, de verworven data en hun opgebouwde deskundigheid rond klimaatonderzoek en -verandering.

Gelet op het cruciale belang van deze materie moeten we de wens uitdrukken dat samenwerkingen, en voornamelijk deze tussen de wetenschappelijke actoren, in de toekomst nog meer performant en gecoördineerd kunnen verlopen. Dat is niet alleen noodzakelijk om ons steentje bij te dragen aan de uitvoering van het in Parijs bereikte akkoord. Het is ook essentieel om de dramatische scenario's van klimaatverandering te kunnen beperken en de basis te kunnen leggen voor een succesvol Belgisch klimaatbeleid.

René Delcourt

Voorzitter a.i. van het Directiecomité van het Federaal Wetenschapsbeleid





Belgische expertise om de klimaatuitdaging het hoofd te bieden

De klimaatvraagstukken zijn zo groot en complex, dat de internationale wetenschappelijke gemeenschap almaar vaker wordt ingeschakeld om op een gecoördineerde manier op verschillende fronten onderzoek te verrichten om:

- een beter inzicht in de klimaatverandering te krijgen;
- de gevolgen van de klimaatverandering te analyseren en te voorspellen;
- maatregelen voor te stellen om de opwarming te beperken en om ons eraan aan te passen.

Nationale onderzoeksprogramma's om klimaatveranderingen en hun gevolgen te bestuderen

BELSPO steunt verschillende instrumenten en werkt financieringsregelingen uit om Belgische wetenschappers een plaats in de voorhoede van het klimaatonderzoek te verzekeren. In de voorbeelden hierna schetsen we een beeld van de bijdrage die Belgische wetenschappers aan de Europese en

internationale onderzoeksinspanningen leveren. Ze maken meteen ook duidelijk welke buitengewone diversiteit aan expertises nodig is om op deze problematiek vat te krijgen.

BELSPO ontwikkelt en implementeert sinds 1988 meerjarige programma's voor onderzoek over klimaatverandering in netwerkverband. De onderzoeksactiviteiten – zowel fundamentele als toegepaste – coveren heel wat thema's en buigen zich over verschillende tijdschalen en klimaatzones, onder meer over Antarctica, een regio die heel gevoelig is voor klimaatveranderingen. Dankzij de interdisciplinaire aanpak die inherent is aan deze programma's, hebben we vandaag voldoende kennis verzameld om nieuwe 'klimaatdiensten' aan te bieden en om een duurzaam ontwikkelingsbeleid te ondersteunen.

Op het vlak van ruimteactiviteiten is BELSPO verantwoordelijk voor de Belgische bijdrage aan ESA. Dit biedt BELSPO de mogelijkheid om Belgische actoren te betrekken bij heel wat projecten en activiteiten die in het teken van klimaatverandering staan, onder meer in het kader van het CCI-programma (*Climate Change Initiative*).

BELSPO zette in 1985 een Belgisch onderzoeksprogramma voor aardobservatie op dat nu nog steeds onder de naam STEREO loopt. Een van de STEREO-doelstellingen is het bestuderen van de wisselwerking tussen veranderingen in de bodembedekking en klimaatveranderingen.

Science Connection-special Het klimaatonderzoek in België

Inleiding	4
1. Klimaatstelsel en -evoluties	4
1.1. Langetermijnmonitoring	4
1.2. Dynamiek van het klimaatstelsel	8
1.3. Klimaatprojecties	18
2. Klimaatimpacten en kwetsbaarheden	20
3. Klimaatadaptatie en mitigatiemaatregelen	27

Satellieten zijn dé instrumenten bij uitstek om wereldwijd de wisselwerking tussen oceanen, continenten en de atmosfeer te monitoren. Andere thematische projecten buigen zich over de impact van klimaatveranderingen op een hele resem domeinen: de voedselveiligheid, het mariene milieu, risicobeheersing, gezondheidsproblemen, de biodiversiteit, het cultureel erfgoed, enz.

Ons nationaal klimaatonderzoek sluit naadloos aan bij de Europese en internationale strategieën

BELSPO en de federale wetenschappelijke instellingen (FWI) nemen deel aan Copernicus. Met dit programma wil de Europese Unie in Europa operationele diensten opzetten om toegang tot milieu-informatie te krijgen.

Daarnaast zijn ze ook betrokken bij Europese initiatieven voor gezamenlijke programmering. Eén ervan is JPI (*Joint Programming Initiative*) Climate waarvan het secretariaat bij BELSPO is ondergebracht. Bij JPI Climate zijn 16 landen betrokken die samen hun klimaatonderzoek coördineren. 40 financieringsagentschappen en instanties die instaan voor de uitvoering van het onderzoek (voor België zijn dit het KMI en BELSPO) zorgen samen met de Europese Commissie voor een budget van 72 miljoen euro om klimaatdiensten te ontwikkelen.

De Intergouvernementele werkgroep inzake klimaatverandering (IPCC): tussen wetenschap en besluitvorming

BELSPO is het nationale aanspreekpunt van het IPCC. Met de hulp van het team van Prof. van Ypersele (UCL) is België al meer dan 15 jaar actief betrokken bij de werkzaamheden van het IPCC. Dit orgaan werd opgericht om de beleidsmakers up-to-date en zo objectief mogelijke wetenschappelijke, technische en sociaaleconomische informatie te bezorgen die nodig is om strategieën uit te werken om de klimaatverandering aan te pakken.

Tijdens de 21ste Conference of Parties (COP21) in Parijs eind 2015 werd op basis van het recentste evaluatierapport van het IPCC het nieuwe internationale akkoord uitgewerkt om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen.

Klimaatinstrumenten

Om de kennis over de evolutie van het klimaat te verfijnen en een wetenschappelijk onderbouwde basis voor de beleidsmakers aan te reiken, moeten op Europees en internationaal niveau maatregelen op elkaar worden afgestemd en uiterst nauwkeurige gegevens beschikbaar zijn.

- De pan-Europese ICOS-RI-infrastructuur verbindt meer dan 100 stations met elkaar die de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer en hun flux in mariene en terres-

trische ecosystemen meten. België stelt 10 meetstations ter beschikking. Eén ervan bevindt zich aan boord van het oceanografische schip A962 Belgica en verzamelt continu allerlei gegevens zoals pH en CO₂.

- In samenwerking met ESA heeft België de satellieten SPOT-VEGETATION en PROBA-V ontwikkeld. Die leveren sinds 1998 hoogwaardige gegevens aan de internationale gemeenschap die een permanente follow-up van de wereldwijde staat van de vegetatie op dagelijkse basis mogelijk maken. Een dergelijk instrument is cruciaal om de koolstofstocks te evalueren en om de impact van klimaatveranderingen te monitoren. Daarom zit er nu al een opvolger voor PROBA-V in de pijplijn.

- 6 families aardobservatiesatellieten – de Sentinels – leveren in het kader van Copernicus naast informatie over de vegetatie, de stedelijke gebieden en de oceanen ook gegevens over de concentratie van broeikasgassen, de temperatuur en de luchtkwaliteit.

- EUMETSAT, de Europese organisatie voor de exploitatie van meteorologische satellieten, beheert een heuse vloot geosynchrone en polaire satellieten die essentiële gegevens aanleveren om het weer, het klimaat en het milieu te monitoren.

De auteurs

Aline van der Werf (Directie Onderzoeksprogramma's-BELSPO) en Martine Stélandre (Directie Lucht- en ruimtevaarttoepassingen-BELSPO)

Meer

BELSPO (1985-2016): Programma's GC - PODOI - POD02 - SSD - BRAIN-be - STEREO:

www.belspo.be/belspo/research/index_nl.stm

ESA's CCI: <http://cci.esa.int>

Copernicus – Sentinels: <http://copernicus.eu>

JPI climate: [www.jpi-climate.eu](http://jpi-climate.eu)

GIEC: www.ipcc.ch

ICOS: www.icos-ri.eu

BELGICA: <http://odnature.naturalsciences.be/belgica>

PROBA-V: <http://proba-v.vgt.vito.be>

EUMETSAT: www.eumetsat.int

DEEL 1: KLIMAATSYSTEEM EN -EVOLUTIES

1.1. LANGETERMIJNMONITORING

De evolutie van het klimaat in België

KLIMAATARCHIEVEN BENUTTEN OM DE EVOLUTIE VAN HET REGIONALE KLIMAAT IN BELGIË TE BESTUDEREN

De lange series van klimaatgegevens van het meetstation in Ukkel geven de grote lijnen weer van de evolutie van het klimaat in België gedurende meer dan honderd jaar. Lopende onderzoeken zullen het mogelijk maken om die evolutie ook voor andere plaatsen in het land te kenschetsen.

Evolutie van het klimaat in Ukkel

Het Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI) publiceerde vorig jaar de brochure *Oog voor het klimaat 2015* die een overzicht geeft van de onderzoeksactiviteiten van het Instituut in het kader van de klimaatveranderingen¹. Een hoofdstuk is gewijd aan de evolutie van het klimaat in België gedurende meer dan honderd jaar. Hiervoor werd vooral een beroep gedaan op klimaatgegevens van het referentieweerstation in Ukkel waar sinds 1880 elke dag verschillende meteorologische parameters worden gemeten. Die metingen gebeuren al sinds 1833, maar werden toen in het Observatorium in Sint-Joost-ten-Node uitgevoerd. Uit de analyses blijkt dat het klimaat in de streek rond Brussel sinds het begin van de 20ste eeuw is geëvolueerd. Opvallend is de stijging van de gemiddelde jaartemperatuur met ongeveer 2 °C. De vier warmste jaren dateren allemaal van na 2005. De gemiddelde windsnelheid is de afgelopen decennia afgenomen, terwijl de jaarlijkse maxi-

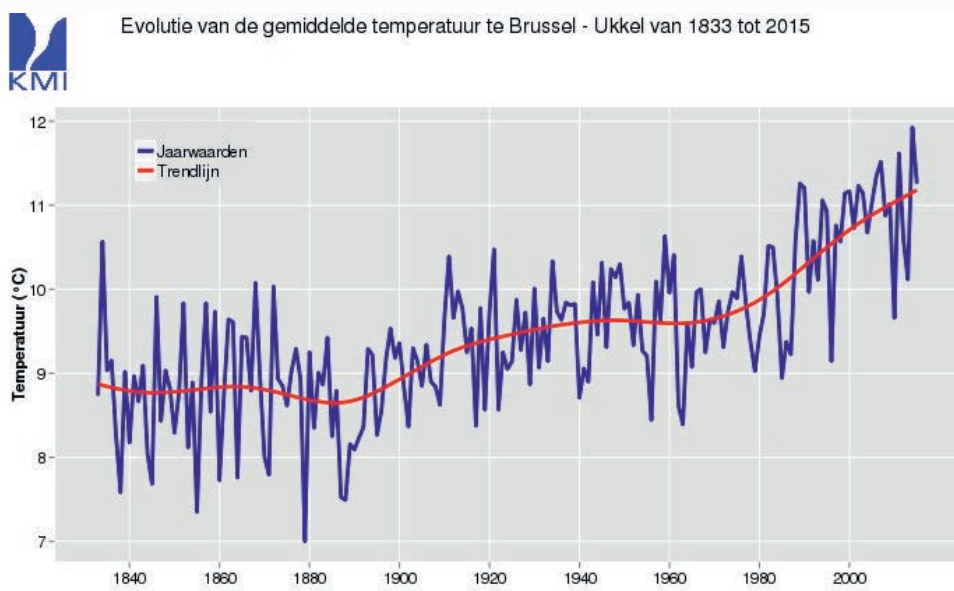
male neerslaghoeveelheden die in een periode van enkele dagen vielen, duidelijk zijn toegenomen. Er kan wel geen langetermijntendens worden afgeleid voor het aantal uren zonneshijns, de maximale jaarlijkse neerslaghoeveelheden per uur of de stormfrequentie.

Digitalisering van lange series waarnemingen

Om de evolutie van het klimaat op andere plaatsen in België te bestuderen, moeten we over andere hoogwaardige lange series waarnemingen kunnen beschikken. In het kader van de programma's voor digitalisering van het wetenschappelijk en cultureel patrimonium van de federale wetenschappelijke instellingen die BELSPO financiert, is het KMI intussen al enkele jaren bezig met het systematisch digitaliseren van de klimatologische waarnemingen die sinds 1880 door het Belgische klimatologisch netwerk worden uitgevoerd. Intussen zijn al bijna 5 miljoen daggegevens ingevoerd. Het gaat om daggegevens over de neerslag en de minimum- en maximumtemperaturen.

Studie van het regionaal klimaat

De studie van de evolutie van het klimaat aan de hand van ruwe instrumentele gegevens gaat gepaard met een aantal specifieke problemen. Naast de onvermijdelijke

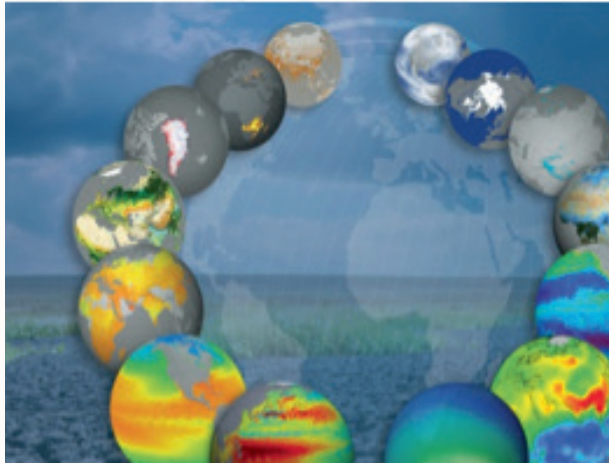


Afbeelding 1. Evolutie van de gemiddelde jaartemperatuur in Brussel/Ukkel van 1833 tot 2015. De temperaturen werden herleid naar die in een gesloten thermometerhut die sinds 1980 als referentiehut wordt gebruikt.

Evolutie van de atmosfeer in een veranderend klimaat

MINUTIEUZE OPVOLGING VAN OZON, BROEIKASGASSEN EN AEROSOLEN OP LANGE TERMIJN

Figuur 1: Het klimaat op aarde ondergaat al sinds jaar en dag natuurlijke variaties. Deze natuurlijke variabiliteit onderscheiden van veranderingen door de mens geïntroduceerd, is belangrijk om de uitdagingen van vandaag aan te gaan. Gegevens van satellieten die de aarde bestuderen zijn cruciaal voor het opvolgen van de belangrijkste parameters in de klimaatverandering; de essentiële klimaatvariabelen. ©ESA



Klimaatverandering is één van de grootste uitdagingen waar onze generatie en die van onze kinderen en kleinkinderen tegenaan kijkt in de 21ste eeuw. Observaties vanop de grond en vanuit de ruimte van onze atmosfeer, de oceanen en het aardse vasteland leveren unieke informatie die van groot belang is voor het begrijpen en het aanpakken van klimaatverandering.

ESA's Climate Change Initiative

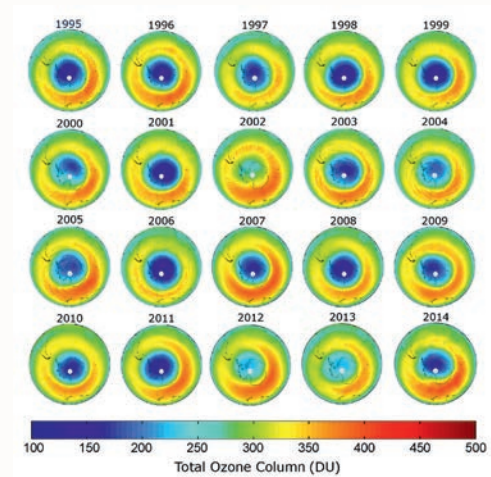
Als antwoord op de nood aan betrouwbare en precieze klimaatgegevens werd in 2009 door het Europees Ruimtevaartagentschap (ESA) het Climate Change Initiative (CCI) opgestart. Met dit ambitieuze programma streeft ESA ernaar om voor 14 essentiële klimaatvariabelen (ECV) stabiele multisensor-tijdsreeksen van satellietwaarnemingen over een lange termijn te genereren inclusief informatie over hun fouten en onzekerheden. Dergelijke datasets vormen een krachtig hulpmiddel om de toestand van het klimaatsysteem op te volgen, de drijvende mechanismen achter zijn evolutie beter te begrijpen en de gevolgen van een veranderend klimaat door middel van complexe modellen te voorspellen.

Het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA) is actief betrokken bij de studie van drie van deze essentiële klimaatvariabelen: ozon (Ozone_CCI), broeikasgassen (GHG_CCI) en aerosolen (Aerosol_CCI). Het instituut produceert datasets die toelaten de wisselwerking tussen de veranderende concentraties van deze elementen en de stralingsbalans van de atmosfeer te bestuderen, processen die aan de basis liggen van klimaatverandering.

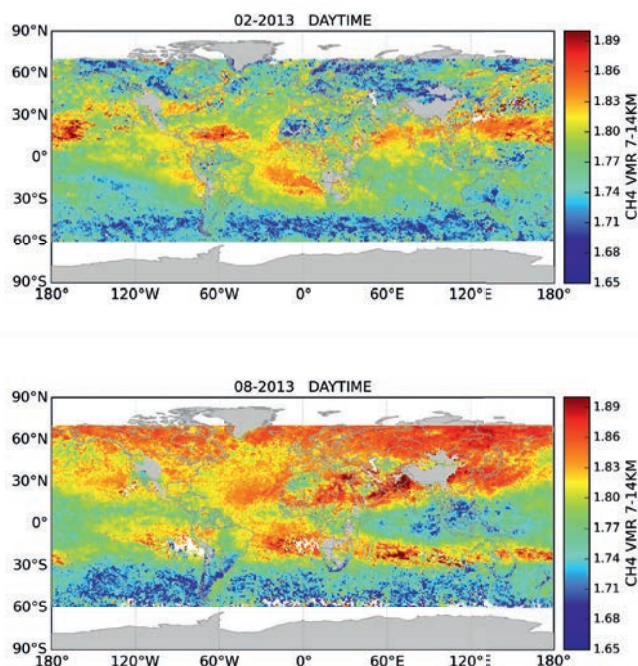
Langetermijnobservaties van ozon

De studie van de interacties tussen de ozonlaag en het klimaat vereist observaties die zich minimum over enkele decennia uitspreiden. Gezien de beperkte levensduur van een satellietmissie is het cruciaal om de observaties die door verschillende instrumenten aangeleverd worden zo optimaal mogelijk op elkaar af te stemmen, om op die manier zeer lange tijdreeksen te bekomen die nuttig zijn voor klimatologisch onderzoek.

Het BIRA levert een substantiële bijdrage tot deze inspanning, zowel door haar betrokkenheid in internationale netwerken van grondmetingen als door de coördinatie van het Ozone_CCI project en haar prominente deelname hierin. Eén van de grootste behaalde successen was de productie van multisensor-gegevens, gebaseerd op waarnemingen van de instrumenten GOME, SCIAMACHY, GOME-2 en OMI, voor totale ozonkolommen, die de hoeveelheid ozon boven een bepaalde plaats op aarde weergeven. De validatie van deze dataset, die een periode van bijna 20 jaar beslaat, heeft bevestigd dat de kwaliteit ervan inderdaad uitstekend voldoet voor de studie van de klimaat-evolutie.



Figuur 2: Evolutie van de totale ozonkolom boven Antarctica over de laatste 20 jaar, afgeleid uit de ozontijdreeksen opgemeten door de Europese instrumenten GOME, SCIAMACHY, GOME-2 en OMI. Op basis van huidige projecties, die rekening houden met de wisselwerking tussen ozon en klimaatverandering, verwacht men niet dat het ozongat zal herstellen vóór 2050.



Figuur 3: De gemiddelde maandwaarden voor methaan in het gebied tussen 7 en 14 km voor februari 2013 en augustus 2013 illustreren duidelijk de toename van methaan in de atmosfeer tijdens de boreale zomerperiode.

Precisiemetingen van broeikasgassen

De twee bekendste chemische componenten die in de klimaatproblematiek een rol spelen, zijn koolstofdioxide (CO_2) en methaan (CH_4). Om waardevolle informatie te leveren voor de bepaling van methaanfluxen op basis van atmosfermodellen waar de waargenomen concentraties in opgenomen zijn, moeten de concentraties met grote precisie (beter dan 2%) gemeten worden. Satellieten hebben het daar nog moeilijk mee, maar er wordt hard gewerkt aan de verbetering van de satellietgegevens.

In het kader van GHG_CCI is het BIRA verantwoordelijk voor de validatie van de satellietgegevens voor CO_2 en CH_4 aan de hand van goed gekarakteriseerde waarnemingen vanaf de grond, onder meer binnen het TCCON-netwerk (Total Carbon Column Observing Network). Sinds 2011 onderhoudt en exploiteert het BIRA een waarnemingsstation op Ile de La Réunion en in 2016 zal het, met de steun van BELSPO, een nieuw station opstellen in Porto Velho in het Amazonewoud, waar momenteel nog onzekerheid bestaat over de betrouwbaarheid van de satellietgegevens. Het BIRA werkt ook aan de generatie van nieuwe datasets met satellietgegevens voor CH_4 , met een verhoogde gevoeligheid voor de concentraties aan het aardoppervlak, waar methaan geproduceerd wordt, en met meer details over de verticale verdeling ervan in de troposfeer.

De rol van aerosolen

Woestijnzand-aerosolen (stof, zand), door windschering de atmosfeer ingeblazen, zijn voornamelijk van natuurlijke oorsprong, maar worden evengoed beïnvloed door menselijke activiteiten via woestijnvorming, ontbossing en bodembebruik. Ze beïnvloeden het klimaat op verschillende manieren, soms met tegenovergestelde effecten, die het erg moeilijk maken om hun uiteindelijke effect op de oppervlaktetemperatuur van de aarde te bepalen. Verschillende parameters spelen hierin een rol waarvan de verticale verdeling van de aerosolen één van de belangrijkste is. Vandaar dat het BIRA zijn onderzoek vooral hierop focust. Aan de hand van nadirmetingen door



Figuur 4: Op 10 mei 2003 barstte de vulkaan Anatahan uit, een eerder bescheiden vulkaan van de Marianen. Hoewel, op globaal niveau, het effect van deze uitbarsting erg beperkt is, vermoeden sommige wetenschappers dat de accumulatie van dergelijke uitbarstingen in de tropische regio aanleiding gegeven heeft tot de graduele stijging van de hoeveelheid aerosolen in de stratosfeer sinds 2000. Anderen leggen de oorzaak voor de stijging voornamelijk bij de mens (koolexploitatie, huiselijke en stedelijke vervuiling). De GOMOS-tijdreeks zou hier verduidelijkend moeten in brengen. © USGS

de IASI-satelliet in het infrarood is men er voor het eerst in geslaagd uit kolomgegevens informatie over twee onafhankelijke aerosollagen te distilleren.

Niet alleen in de troposfeer spelen aerosolen een rol. Via de globale atmosferische circulatie kunnen ze ook de stratosfeer bereiken, vooral bij zeer krachtige vulkaanuitbarstingen. Door hun invloed op de straling, de fysico-chemie en de dynamica van de atmosfeer, zijn ze in zo'n periode bepalende actoren van het klimaat. Huidige klimaatmodellen maken hoofdzakelijk gebruik van klimatologieën van stratosferische aerosolen, op basis van historische satellietexperimenten. Aan de hand van sterocculatiemetingen door het GOMOS-instrument aan boord van Envisat hebben de wetenschappers van het BIRA tijdreeksen van stratosferische aerosolgegevens weten te creëren. Deze worden o.m. gebruikt voor een inventaris van de aerosolbronnen, met als doel de respectievelijke invloed van vulkanen en van menselijke bronnen in de graduele stijging van de hoeveelheid aerosolen in de stratosfeer sinds 2000 te identificeren.

Investering in de toekomst

Het BIRA zal zich ook in de toekomst blijven engageren in het klimaatonderzoek, niet alleen binnen Europese, maar ook binnen Belgische programma's. Zo wordt momenteel volop gewerkt aan de voorbereiding van de ALTIUS-missie, de eerste Belgische missie voor het observeren van de stratosfeer via een microsatteliet. Het zal o.m. voor een groot aantal gassen, die in verband staan met klimaatverandering, onderzoeken in welke hoeveelheden zij voorkomen in de bovenste laag van de atmosfeer: ozon, waterdamp, stikstofdioxide, broomoxide, methaan en aerosolen.

De auteur

Karolien Lefever, Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA), Dienst Communicatie

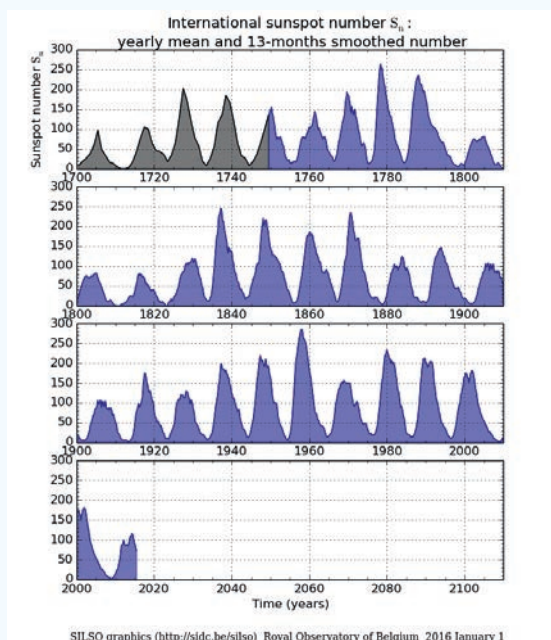
1.2. DYNAMIEK VAN HET KLIMAATSYSTEEM

Zon en klimaat

Als belangrijkste energiebron van het systeem aarde is de zon essentieel voor ons inzicht in de temperatuur van de atmosfeer, het land en de oceaan.

Systematische observatie van de zon

Al van in de oudheid worden regelmatig metingen van de zon uitgevoerd door observatie van de zonnevlekken. Maar het is Galilei die in 1610 een betrouwbare meetmethode ontwikkelde door gebruik te maken van een telescoop. Vandaag is de Koninklijke Sterrenwacht van België hét wereldcentrum voor het monitoren van de zonnevlekken. De waarnemingen wijzen op een elfjarige cyclus, maar brengen ook heel wat anomalieën aan het licht zoals het 'minimum van Maunder' (1645-1715), dat samenvalt met de 'kleine ijstijd' in Europa tussen 1600 en 1850. De eerste wetenschapper die een verband legt tussen de zon en het klimaat is William Herschell: hij toont in 2001 een samenhang aan tussen de studie van de graanprijs en de activiteit van de zon.



Afb. 1: voorstelling van de zonnecyclus sinds 1700 aan de hand van gegevens bewaard op de Koninklijke Sterrenwacht van België (document KSB).

Het ruimtetijdperk en het IPCC

Het systeem achter de invloed van de zon op het klimaat kon pas worden achterhaald door met behulp van ruimtemiddelen kwantitatieve metingen uit te voeren. De eerste meting was die van de 'zonneconstante'. De Belg Marcel Nicolet, oprichter van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie, was één van de specialisten. Het meten van zonne-ultraviolet met ballons en satellieten groeit uit tot een absolute prioriteit voor het BIRA.



Afb. 2: het SOLAR-pakket op de Europese COLUMBUS-module van het internationaal ruimtestation. SOLAR is sinds maart 2008 operationeel (document ESA).

Dirk Frimout, in 1992 onze eerste Belgische astronaut, schreef er zelfs een scriptie over. Parallel hiermee ontwikkelde het Koninklijk Meteorologisch Instituut een instrument om de zonneconstante in de ruimte te meten. De eerste Spacelab-payload aan boord van de spaceshuttle COLUMBIA in 1983 bestond uit drie zonnemeeinstrumenten waaraan de twee Ukkelse instellingen hadden meegewerkt. Dertig jaar later kunnen we dankzij deze en andere instrumenten besluiten dat de zonneconstante niet constant is! De term is nu vervangen door 'totale zonnestraling'.

Zijn de conclusies van het IPCC definitief?

De wetenschap stelt zich voortdurend in vraag. De modelresultaten die in het IPCC-rapport worden voorgesteld, houden niet met alle fenomenen rekening. Er is bijvoorbeeld het extreem ultraviolet dat veel sterker varieert dan de totale zonnestraling en chemische reacties in de hoge atmosfeer uitlokt, die het volledige systeem aarde verstoren. De waarnemingen vanuit de ruimte gaan intussen onophoudelijk door. Sinds februari 2008 observeert bijvoorbeeld een cluster van Europese instrumenten de zon vanuit het internationaal ruimtestation. Het gaat om het SOL-ACES-instrument dat ver ultraviolet meet en twee instrumenten met een grote Belgische inbreng: SOVIM (KMI) en SOLSPEC (BIRA). De waarnemingen worden geleid vanuit het B.USOC (Belgian User Support and Operation Centre) dat bij het BIRA is ondergebracht.

De auteur

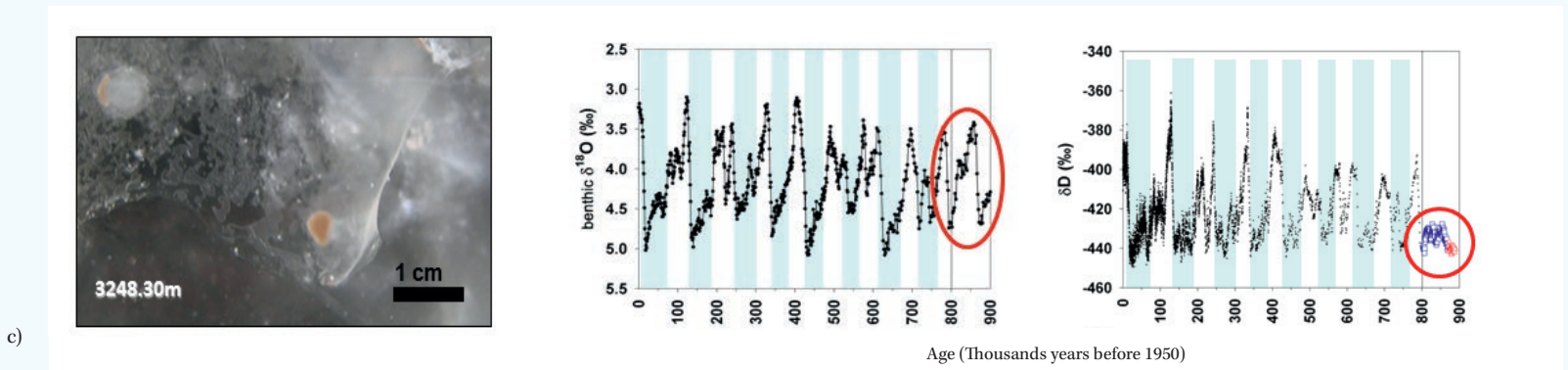
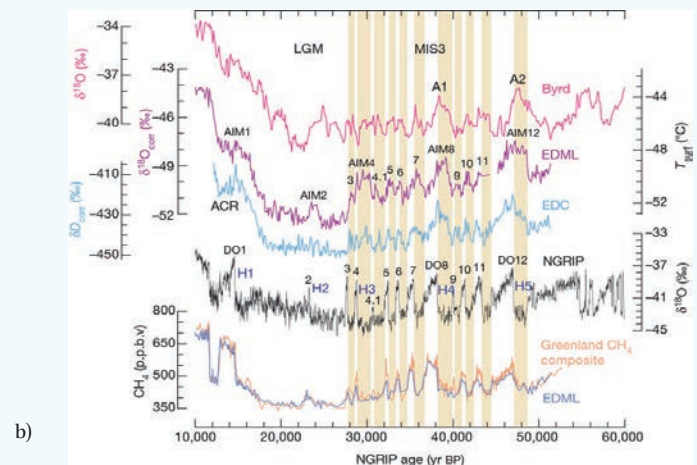
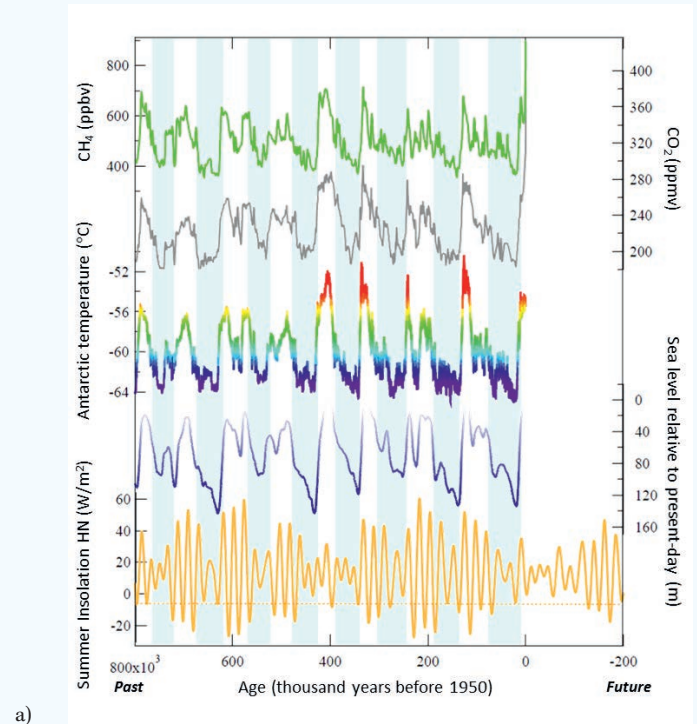
Christian Muller, Koninklijk Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA).

Antarctische ijskernen: het verleden ontcijferen voor de toekomst

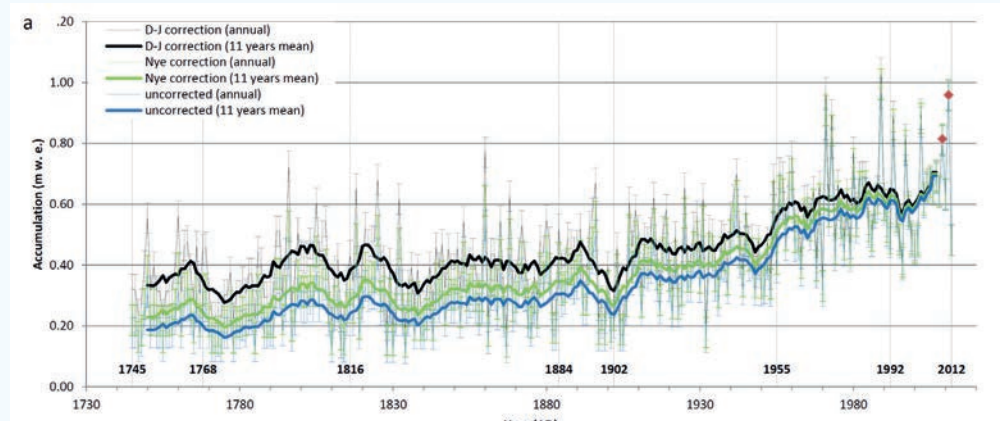
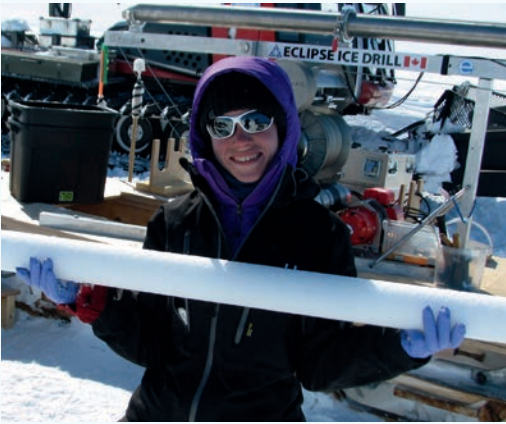
Ijsboringen op Antarctica dringen tot meer dan 3000 meter diep door in de ijskap. Aan de hand van de ijskernen kunnen een groot aantal klimaat- en milieuv variabelen worden gereconstrueerd die een periode van bijna één miljoen jaar coveren. Die variabelen laten ons toe om de essentiële elementen van het klimaat te achterhalen. Zo kunnen we globale klimaatmodellen ontwikkelen en bekrachtigen, onze enige 'instrumenten' om ons een beeld van het klimaat in de toekomst te vormen.

Het *IPICS-programma* (International Partnerships in Ice Core Sciences) coördineert het internationaal paleoklimaatonderzoek naar de ijskernen. Het programma kristalliseert uit dat onderzoek toekomstige prioriteiten volgens vier grote thema's met telkens een andere tijdschaal: a) de oudste ijskernen (> 1,5 miljoen jaar), b) de vorige interglaciale periode (130.000-110.000 jaar), c) de laatste ijstijd (40.000 jaar) en d) de twee laatste millennia. Het Laboratoire de Glaciologie van de ULB was vooral betrokken bij het onderzoek dat tot de prioriteiten a) en d) heeft geleid.

De *EPICA-boring* in Dome C gaat momenteel het verste terug in de tijd (800.000 jaar, afb. 1). Ze bevestigt de nauwe band tussen broeikasgasen, de luchttemperatuur, de zeespiegel en de stralingsforcering (zoninstraling) tijdens acht opeenvolgende klimaatcycli van ongeveer 10^5 jaar (1a). Nader onderzoek van de laatste ijstijd (1b) wijst op samenhangende variaties van de temperatuur tussen de twee hemisferen in tegenfase (koud in NH, warm in ZH) met een afwijking van 500 tot 1000 jaar. Die afwijking heeft te maken met de tijd die het water in de Atlantische Oceaan nodig heeft om de transit van de ene naar de ander pool te maken (*bipolar seesaw*). Het basale ijs in de buurt van het rotsgesteente vertoont duidelijke sporen van variaties en discrepanties met de registraties van de mariene sedimenten (1c, rood omcirkeld): botsen we hier op een grens voor onze tijdreis door het ijs?



Afbeelding 1: paleoklimaatgegevens van het EPICA-project: a) acht natuurlijke klimaatcycli (ijstijden in het lichtblauw): temperaturen, broeikasgassen, zeespiegel (Masson-Delmotte et al., 2010); b) synchronisatie NH (NGRIP)/ZH (EDC, EDML) tijdens de laatste ijstijd (EPICA Community, 2006) en c) discrepantie tussen temperatuurproxy's in mariene sedimenten (benthic $\delta^{18}\text{O}$, laag) en in het basale ijs (hoog en midden: $\delta\text{D}_{\text{glace}}$) van EPICA (Tison et al., 2015).



Afbeelding 2: Boring van 120 m ter hoogte van de Derwael Ice Rise (Princess Ragnhild Coast, in de buurt van de Prinses Elisabethbasis). Links: firnkern, rechts: reconstructie van de accumulatiegraad in meters waterequivalent (blauw: metingen, groen en zwart: twee soorten correcties voor de ijsvorming bovenop de dichtheidswijziging). Dunne lijnen = jaarwaarden, dikke lijnen = afvlakking 11 jaar.

De overgang naar het Antropoceen documenteren (tijdperk waarin de mens het klimaat beïnvloedt) is een andere prioriteit vandaag. Hoewel het merendeel van de oppervlakteboringen in het noord-oostelijke deel van Antarctica (Atlantische kust) geen duidelijke aanwijzingen opleveren voor de verwachte toename van de neerslag in het kader van de overgang naar de antropogene opwarming, heeft een kustboring met een lengte van 120 meter ter hoogte van de Derwael Ice Rise (Prinses Elisabethbasis) als eerste deze tendens (afbeelding 2) onomstotelijk aangetoond (Philippe et al., 2016).

En morgen? De volgende uitdaging zal erin bestaan om op Antarctica een plek te vinden om ijsstalen van meer dan één miljoen jaar te nemen die niet verstoord zijn door de nabijheid van het rotsgesteente en die niet gesmolten zijn als gevolg van geothermische schommelingen. Een unieke gelegenheid om het milieu en het klimaat te documenteren van een periode met natuurlijke klimaatcycli van 40.000 jaar!

De auteur

Jean-Louis Tison, Université libre de Bruxelles, Laboratoire de Glaciologie

Meer

- IPICS-website: <http://www.scar.org/ssg/physical-sciences/ipics>
- Masson-Delmotte, V. et al., 2010. EPICE Dome C record of glacial and interglacial intensities, *Quaternary Science Reviews*, v. 29, p. 113-128.
- www.climat-en-questions.fr
- EPICA Community Members, 2006. One-to-one coupling of glacial climate variability in Greenland and Antarctica
- Tison et al., 2015. Retrieving the paleoclimatic signal from the deeper part of the EPICA Dome C ice core, *The Cryosphere*, 9, 1633-1648.
- Philippe et al. 2016. Ice core evidence for recent increase in snow accumulation in Coastal Dronning Maud land, Antarctica, *The Cryosphere*, submitted.

Smelten van ijs en zeespiegelstijging

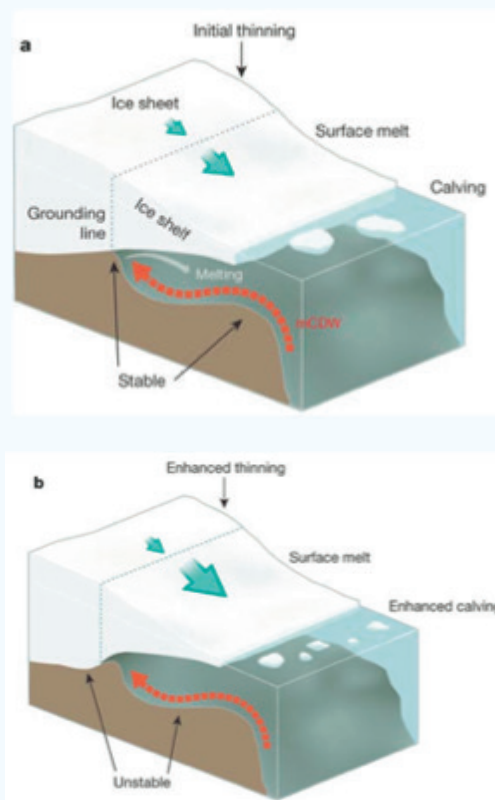
Gedurende de 20ste eeuw is de globale zeespiegel met ongeveer 20 cm gestegen en dit proces versnelt sinds de aanvang van de 21ste eeuw. Het meest dominante effect in zeespiegelstijging is thermische expansie van de oceanen. Dit komt door het opwarmen en mengen van de bovenste oceanlagen, waardoor het volume toeneemt. De tweede meest belangrijke bijdrage komt van continentaal ijs (gletsjers, ijskappen en de Groenlandse en Antarctische ijskap) die water of ijs verliezen aan de oceanen in een ijtempo.

Voor de Groenlandse ijskap (Figuur 1 - boven) is het ijsverlies gedomineerd door smelten aan het oppervlak en afvloeien van smeltwater. Verder komt ook nog ijsverlies voor van kustgletsjers in contact met de oceaan. De ijskap wint ook aan massa in het centrum door verhoogde sneeuwval, maar deze winst is tenietgedaan door het massale ijsverlies aan de rand.



Figuur 1 (boven): Massabalans van de Antarctische en Groenlandse ijskap volgens verschillende studies (Hanna et al., 2013). Een massaverlies van ongeveer 360 Gt komt overeen met een zeespiegelstijging van 1 mm. (Bron: Hanna et al., 2013, Nature)

Figuur 2 (rechts): (a) Warm Circumpolair Diep Water (mCDW) leidt tot smelten aan de scharnierlijn (grounding line), hetgeen leidt tot verdunning van de ijsplaat (ice shelf), terugtrekking van de scharnierlijn en verdunning van de ijskap. (b) Ijskapinstabiliteit gebeurt wanneer de scharnierlijn zich terugtrekt op een inlandse helling van de bedrock. (Bron: Hanna et al., 2013, Nature)



Massaverlies van de Antarctische ijskap (Figuur 1 - onder) is vooral geconcentreerd in West-Antarctische kustgletsjers. Dit verlies is groter dan de ijsgroei door een toename van de neerslag over de hele Antarctische ijskap. Het massaverlies vertaalt zich in een verdunning van de ijskap, een stevast versnellen van kustgletsjers en een terugtrekking van het contact van de gletsjers met de oceaan (Figuur 2). Een toename van ijsflux op dit contact (scharnierlijn) maakt dat meer ijs in de oceaan wordt gedumpt, wat de zeespiegel doet stijgen. Desintegratie van ijsplaten (drijvend landijs - 'ice shelves') helpt die versnelling, wat leidt tot een niet te stoppen ijsverlies. Zo een destabilisatie wordt in de hand gewerkt door het smelten onderaan de ijsplaat: warm en zout oceaanwater (mCDW) op een diepte van verschillende kilometers onder de continentale plaat maakt stilaan zijn weg naar de ijsplaten en de scharnierlijn.

De toekomst van de zeespiegel hangt af hoe de verschillende bijdragen tot de zeespiegel zullen reageren op een veranderend klimaat. We gebruiken computermodellen om de toekomstige zeespiegel te voorspellen, maar de tijdschaal, de grootte en de snelheid van verandering verschilt van model tot model. Volgens het IPCC-rapport wordt een zeespiegelstijging van 30-60 cm verwacht voor 2100. De zeespiegel zou wel met een meter kunnen stijgen tegen 2100 voor een business-as-usualscenario, maar minder dan 140 cm volgens enkele recente studies. Ondanks vereende inspanningen in Parijs in december om de globale temperatuur onder 2°C te houden (in vergelijking tot pre-industriële waarden), zal de zeespiegel blijven stijgen gedurende de volgende eeuwen.

rende de volgende eeuwen.

Recent BELSPO-onderzoek uitgevoerd door de ULB in het kader van het Princess Elisabethonderzoeksstation op Antarctica legt de mechanismen bloot die de stabiliteit van ijsplaten garanderen, waardoor computermodellen die ijsverlies voorspellen heel wat robuuster zijn geworden.

De auteurs

Frank Pattyn en Sophie Berger, Université libre de Bruxelles, Laboratoire de Glaciologie

Referenties

- Berger, S., L. Favier, R. Drews, J.J. Derwael, F. Pattyn (2016) Uncharted pinning points and their control on the flow of Antarctic ice shelves. *J. Glaciol.*, in press
- Durand, G. and F. Pattyn (2015) Reducing uncertainties in projections of Antarctic ice mass loss. *The Cryosphere* 9, 2043-2055
- Favier, L. and F. Pattyn (2015) Antarctic ice-rise formation, evolution and stability. *Geophysical Research Letters* 42, doi:10.1002/2015GL064195.
- Hanna, E., F. Navarro, F. Pattyn, C. M. Domingues, X. Fettweis, E. R. Ivins, R. J. Nicholls, C. Ritz, B. Smith, S. Tulaczyk, P. L. Whitehouse, H. J. Zwally (2013) Ice sheet mass balance and climate change. *Nature*. 498 (7452), 51-59.
- IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC 5th Assessment Report*. Cambridge University Press.

Modellering van de klimaatdynamiek

Klimaatmodellen zijn onmisbare instrumenten om ons begrip van het klimaatstelsel te verbeteren en om voorspellingen te doen. Ze ontwikkelen is een werk van lange adem waar heel wat expertise en tests aan te pas komen om hun bruikbaarheid te meten.

Wat is een klimaatmodel?

Afhankelijk van de context of het domein kunnen er achter de term 'model' heel wat betekenissen schuilgaan. In de klimatologie wordt de term standaard gebruikt voor een weergave van het echte systeem die een beter begrip van de dynamiek toelaat en die het mogelijk maakt om toekomstige veranderingen te voorspellen. Een eerste stap in het ontwikkelen van een model bestaat erin om de vergelijkingen vast te stellen die de verschillende bestanddelen van het klimaatstelsel bepalen en bijvoorbeeld de volgende berekeningen te maken: de positie van oceaanstromingen, de windsnelheid, de evolutie van de temperatuur of van het wolkendeck. Deze wiskundige vergelijkingen afgeleid van de hoofdwetten van mechanica, thermodynamica, chemie of biologie, vormen wat we een mathematisch klimaatmodel noemen.

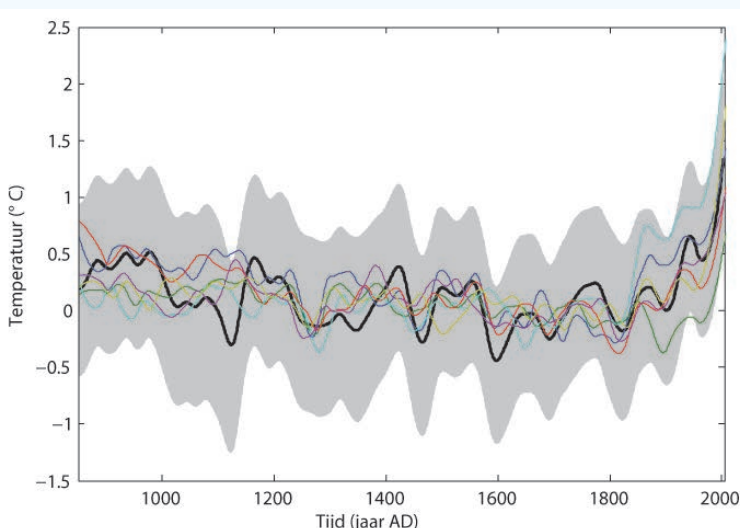
Gelet echter op de complexiteit van de klimaatdynamiek, kunnen de vergelijkingen van dit mathematisch model niet op een blad papier worden opgelost. Hiervoor is een numeriek model nodig dat een benaderende oplossing van deze vergelijking biedt met behulp van de rekenkracht van supercomputers. Deze numerieke oplossing is niet voor elk punt op aarde beschikbaar, maar is er wel al voor rasters met een omvang van 100 km op 100 km (globale modellen). Voor een fijnere dekking – ook hogere resolutie genoemd – zijn berekeningen op een groter aantal rasters

nodig, wat vandaag zelfs met de krachtigste computers onmogelijk is.

Het model valideren

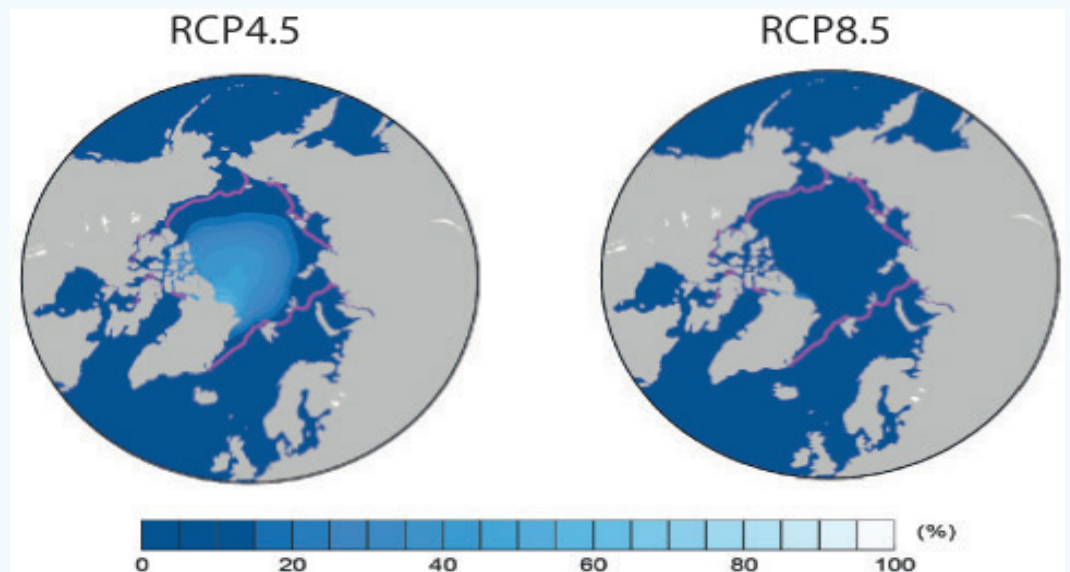
Geen enkele stap in de ontwikkeling van een klimaatmodel biedt zekerheid. De fysieke grootheden in de vergelijkingen worden niet altijd voldoende precies gemeten. Over sommige processen is er ook nog te weinig geweten en daarom kan er slechts bij benadering rekening mee worden gehouden. De numerieke oplossing van vergelijkingen moet ook zo worden gezien: bij benadering. Daarom moet de bruikbaarheid van de modellen grondig worden getest voor ze bijvoorbeeld worden ingezet om voorspellingen te maken. Een model moet het huidige klimaat eerst en vooral correct weergeven door de ruimtelijke spreiding van de temperaturen over het aardoppervlak, de seizoensgebonden neerslagcyclus voor de onderzochte breedtegraad enz. correct te simuleren.

Een goede weergave van het gemiddelde klimaat op aarde is een must, maar dit is natuurlijk maar een eerste stap. Het model moet ook eerdere klimaatveranderingen kunnen simuleren, in het bijzonder de vastgestelde opwarming gedurende de afgelopen 150 jaar. Deze recente periode waarvoor directe waarnemingen beschikbaar zijn via instrumenten zoals thermometers of sensoren aan boord van satellieten, covert echter slechts een klein deel van de vele schommelingen die de aarde tijdens haar bestaan heeft ondergaan. De modellen moeten daarom ook in staat zijn om deze veranderingen te simuleren om na te gaan of ze niet enkel gelden voor de huidige omstandigheden (afbeelding 1).



Afbeelding 1. Tijdreeksen van oppervlaktetemperaturen voor het afgelopen millennium, gereconstrueerd aan de hand van verschillende indirecte klimaatwaarnemingen (PAGES 2k consortium, 2013, zwarte lijn) en gesimuleerd met zes verschillende klimaatmodellen (gekleurde lijnen). De weergegeven temperaturen zijn de verschillen ten opzichte van een referentieperiode die overeenstemt met de jaren 1500-1800 A.D. De onzekerheid van de reconstructie is in het grijs weergegeven. Alle tijdreeksen werden met behulp van de Loess-methode gewogen met een venster van 100 jaar.

Afbeelding 2. Zee-ijsc concentratie in september (nul komt overeen met een open oceaan, 100% met een complete ijslaag), gesimuleerd voor de jaren 2081-2100 als gemiddelde van de resultaten van meer dan 35 klimaatmodellen. Het scenario RCP4.5 (links) komt overeen met een lichte verhoging van de concentratie CO₂ in de atmosfeer. De meeste modellen gaan er bij dit scenario van uit dat er ten noorden van Groenland in de zomer nog altijd zee-ijsc aanwezig zal zijn, ook al zal de omvang ervan sterk afnemen. Bij het scenario RCP8.5 (rechts) echter – waarbij de concentratie CO₂ in de atmosfeer sneller toeneemt – zijn nagenoeg alle modellen het erover eens dat het zee-ijsc voor het einde van de eeuw volledig verdwenen zal zijn. De rode lijn in de afbeeldingen geeft de gemiddeld waargenomen buitengrens van het zee-ijsc aan voor de periode 1986-2005. Afbeelding van Collins et al. (2013)



Het aantal mogelijke tests is haast oneindig. De resultaten ervan zetten aan tot nieuwe ontwikkelingen. Daarom kan een model ook nooit als perfect worden beschouwd; de ontwikkeling en validatie vormen een continu proces. In elke fase wordt een versie van het model gebruikt waarvan dankzij de tests de pluspunten en beperkingen bekend zijn en in de wetenschap dat het volgende model normaal gezien beter zal zijn.

Voorspellingen voor de volgende decennia

Als de prestaties van de modellen in verschillende omstandigheden zijn gemeten en bevredigend zijn, kunnen deze modellen in verschillende toepassingen worden gebruikt, vooral om voorspellingen voor uiteenlopende variabelen te doen (afbeelding 2). In de klimatologie geeft men doorgaans de voorkeur aan de term projectie wanneer men het heeft over het klimaat aan het eind van de 21ste eeuw omdat het klimaat sterk afhangt van de hoeveelheid broeikasgassen (in de eerste plaats CO₂) die de komende jaren wordt uitgestoten. Over die hoeveelheid bestaat heel wat onzekerheid. Klimatologen schatten veranderingen in de toekomst daarom in op basis van verschillende uitstootscenario's voor deze broeikasgassen, maar houden ook rekening met andere vervuilende elementen, met de ontbossingsgraad enz.

Geen van deze scenario's pretendeert toekomstige omstandigheden perfect weer te geven, maar schat veranderingen in op basis van keuzes die kunnen worden gemaakt. De onzekerheid die met de scenario's gepaard gaat, is dus essentieel voor klimaatprojecties. Over heel wat variabelen bestaat nog veel onduidelijkheid, wat wijst op de enorme impact van de beslissingen die de komende

jaren worden genomen om de antropogene uitstoot van broeikasgassen te matigen. De natuurlijke variabiliteit van het klimaat, die onmogelijk voor een hele eeuw te voorspellen is, vormt samen met de benaderingen in de modellen een belangrijke bron van onzekerheid waarmee rekening moet worden gehouden bij het voorstellen van klimaatprojectieresultaten. Dit kan door de resultaten te vergelijken van simulaties gemaakt met diverse klimaatmodellen die teams in verschillende landen hebben ontwikkeld. De gemeenschappelijke kenmerken van de resultaten van deze simulaties mogen als betrouwbaar en degelijk worden beschouwd; duidelijke verschillen tussen simulaties moeten met grotere omzichtigheid worden benaderd.

De auteurs

Hugues Goosse en François Klein, Université catholique de Louvain (Earth and Life Institute, Centre de recherches sur la terre et le climat Georges Lemaître)

Referenties

- Collins M. et al. (2013) Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Verenigd Koninkrijk en New York, NY, USA.
- PAGES 2k Consortium : M. Ahmed et al. (2013) Continental-scale temperature variability during the last two millennia. Nature Geoscience 6, 339-346 DOI: 10.1038/NNGEO1797.

Biogeochemische cycli in oceanen

De mariene koolstofcyclus

De oceanen, die ongeveer 70 % van het aardoppervlak bedekken, spelen een belangrijke rol bij de uitwisseling van koolstofdioxide met de atmosfeer en vormen een groot reservoir voor dit broeikasgas. Tot op heden hebben de oceanen ongeveer 30 % van alle CO_2 geabsorbeerd dat sinds de industriële revolutie door menselijke activiteiten is uitgestoten (IPCC, 2013). De Noord-Atlantische Oceaan is een belangrijke sink voor antropogeen CO_2 (afbeelding 1). Dit natuurlijke absorptieproces heeft het atmosferische CO_2 -gehalte drastisch doen dalen en heeft een aantal effecten van de klimaatverandering verminderd. De in het water opgeloste CO_2 kan voor fotosynthese worden gebruikt en draagt zo bij tot de 'biologische pomp'. De oceanen spelen met andere woorden een cruciale rol in het tegengaan van klimaatverandering en in het vernieuwen van de belangrijkste globale biogeochemische koolstofcycli en van andere belangrijke elementen zoals nutriënten (stikstof, fosfor, zwavel, ijzer enz.) die op hun beurt een impact hebben op het klimaatstelsel.

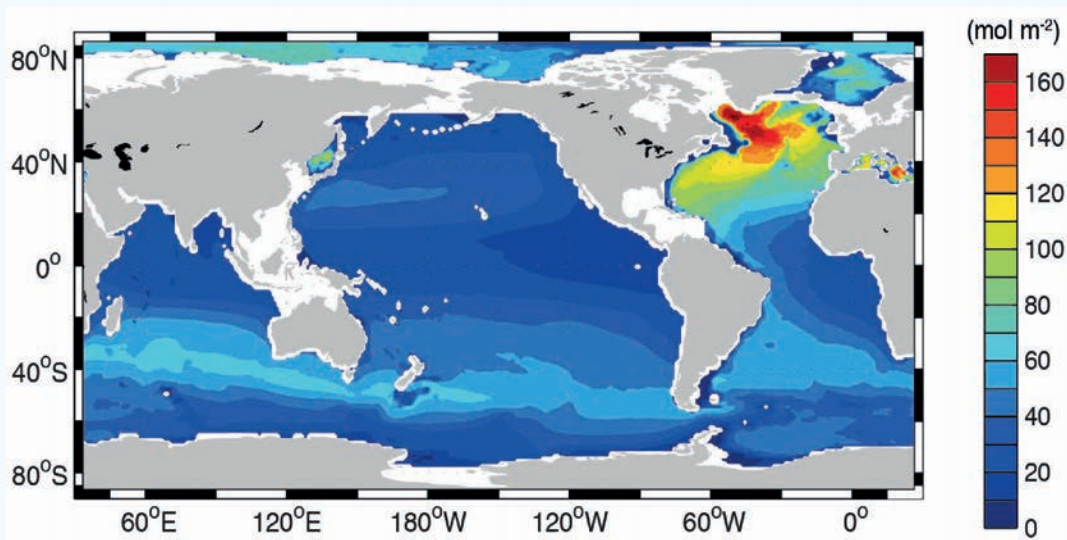
De oceaan verzuurt snel

De absorptie van antropogeen CO_2 via de 'fysische pomp'

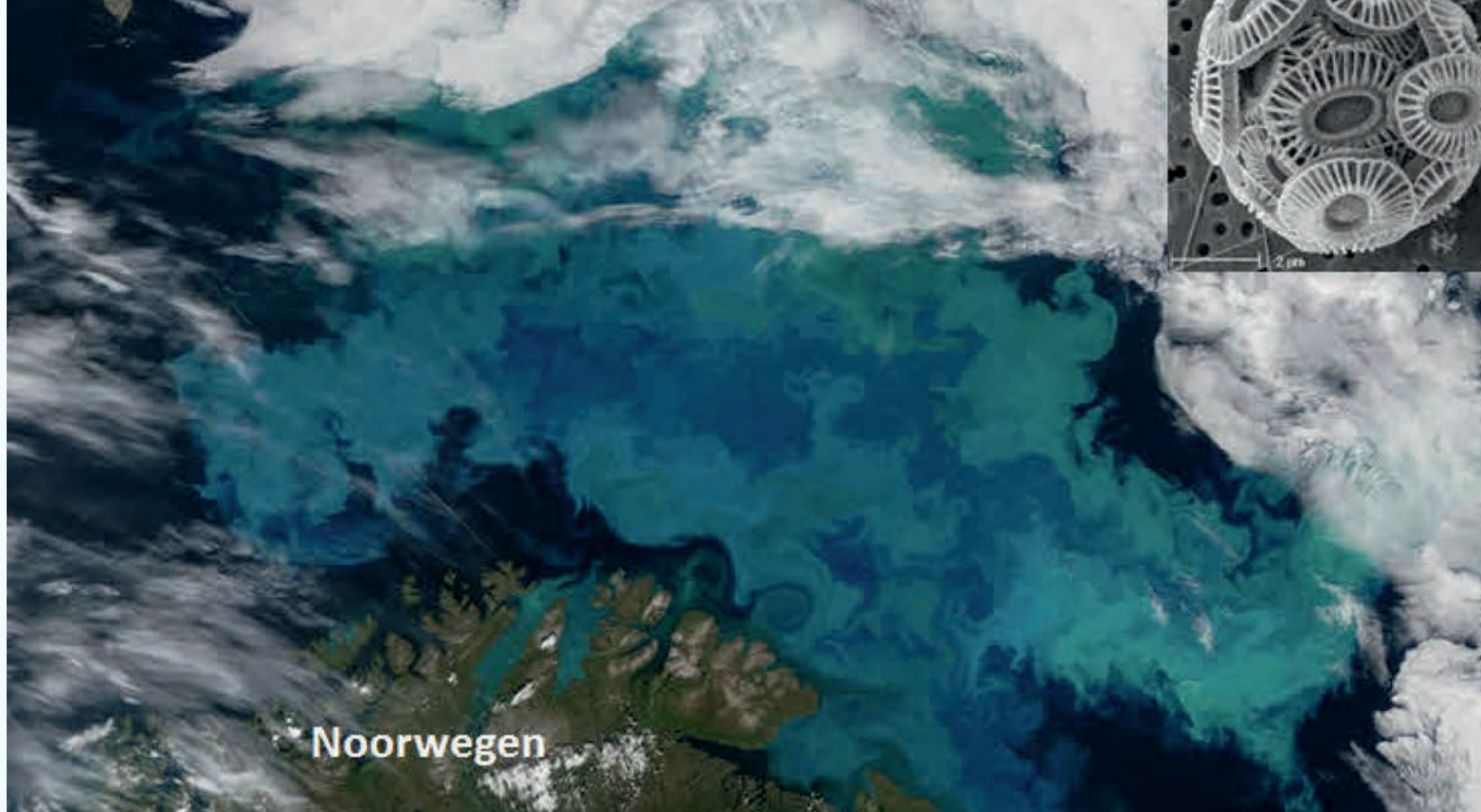
zorgt ervoor dat de oceanen verzuren. Dit wordt ook wel 'het andere CO_2 -probleem' genoemd. De verzuring van de oceanen heeft nefaste gevolgen voor diverse belangrijke groepen mariene organismen die kalkskeletten of kalkschelpen vormen zoals koralen en weekdieren (Orr et al., 2005). Er is heel wat onderzoek verricht naar de gevolgen van de oceaanzuuring op coccolithoforen, microscopisch kleine kalkhoudende algen, die vaak massieve bloeien in de gematigde en subpolaire oceanen vormen (afbeelding 2). Biogeen calciumcarbonaat fungeert bovendien als 'ballast' en zorgt ervoor dat de transfer van organische koolstofdeeltjes van het oceaanooppervlak naar diep water efficiënter verloopt, wat de effectiviteit van de biologische koolstofpomp verhoogt.

Desoxygenatie van de oceanen in een opwarmende wereld

De opwarming van de oceaan en de verhoogde stratificatie door de klimaatverandering, beïnvloeden de circulatie en de ventilatie van de oceaan en kunnen leiden tot een lager zuurstofgehalte in de binnen oceaan (desoxygenatie van de oceanen). De oppervlakte en het volume van de zone met een laag zuurstofgehalte breidt uit. Dit heeft een impact op



Afbeelding 1. Inventaris van het antropogeen CO_2 opgelost in de waterkolom in de oceanen (uitgedrukt in aantal mol CO_2 per vierkante meter), de randzeeën niet meegerekend (volgens het IPCC, 2013).

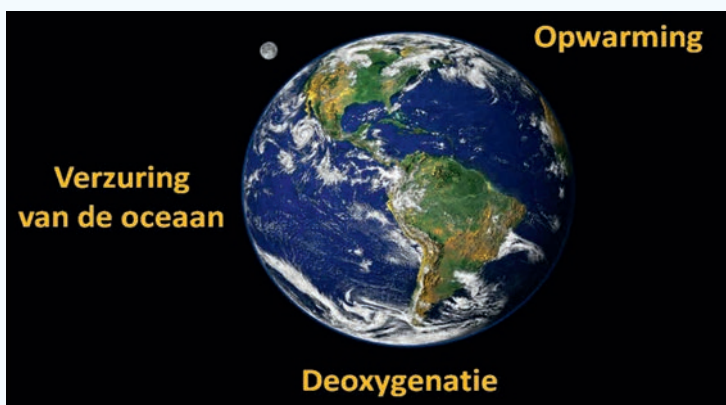


Afbeelding 2. Satellietfoto van de coccolithoforenbloei in het noorden van Noorwegen, aangeduid in het turquoise. Bron: NASA Earth Observatory.

de productiviteit van de oceaan en op de biogeochemische cycli van koolstof en van de nutriënten met gevolgen voor de visserij en de ecosystemen (Keeling et al., 2010).

Talrijke stressfactoren voor mariene ecosystemen

Door de toename van het atmosferische CO_2 -gehalte in de volgende decennia of zelfs eeuwen, zullen de mariene ecosystemen door minimum drie onafhankelijke factoren aan almaar meer stress worden blootgesteld (afbeelding 3). De stijging van de zeewatertemperatuur, de verzuring en de desoxygenatie van de oceanen zorgen voor veranderingen in de fysische, biologische en chemische omgeving die op hun beurt de biogeochemische cycli van de oceanen beïnvloeden (Gruber, 2011; Bopp et al., 2013).



Afbeelding 3. Talrijke stressfactoren voor mariene ecosystemen in een veranderend klimaat.

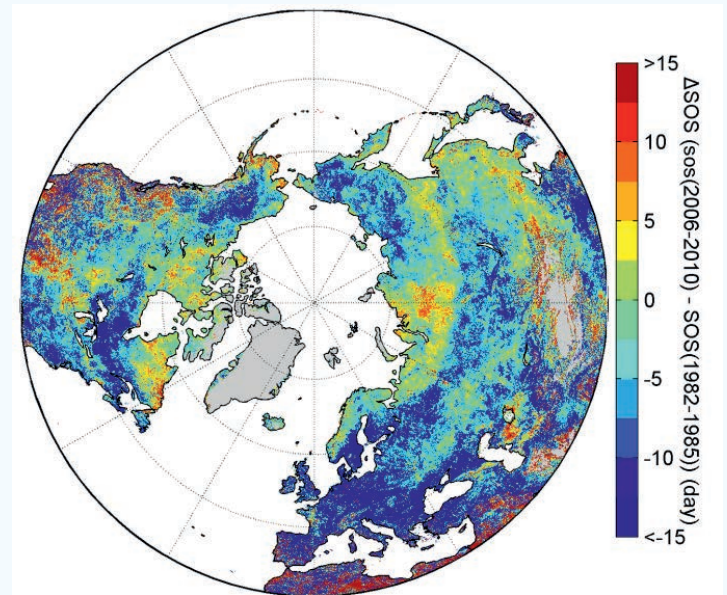
De auteur

Lei Chou, Université libre de Bruxelles, Laboratoire Biogéochimie et Modélisation du Système Terre (BGéSys) - Océanographie Chimique et Géochimie des Eaux

Referenties

- Bopp L. et al. (2013) Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: projections with CMIP5 models. *Biogeosciences*, 10, 6225–6245. doi:10.5194/bg-10-6225-2013.
- GIEC (2013) *Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [sous la direction de Stocker, T.F., et al.]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.
- Gruber N. (2011) Warming up, turning sour, losing breath: ocean biogeochemistry under global change. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 369, 1980–1996. doi:10.1098/rsta.2011.0003.
- Keeling R.F. et al. (2010) Ocean deoxygenation in a warming world. *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 2, 199–229.
- Orr J. C. et al. (2005) Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature*, 437, 681–686.

Koolstofopname door landecosystemen: hoelang nog?



Verandering van het groeiseizoen in de noordelijke hemisfeer tussen 1982-1985 en 2006-2010 op basis van NDVI metingen.

Kennis van de koolstofcyclus van landecosystemen is onontbeerlijk. Zij voorzien ons van voedsel, voeder en hout, maar bossen en weinig verstoorde graslanden nemen ook massaal veel koolstof op, ongeveer 30% van de koolstofuitstoot door fossiele brandstoffen en ontbossing (Le Quéré et al., 2015; Regnier et al., 2013). Hierdoor werken landecosystemen de groei van de atmosferische CO₂-concentratie tegen (en dus ook de klimaatopwarming) en bewijzen ze ons een belangrijke dienst. De vraag is hoelang dit nog blijft duren.

CO₂-opname door ecosystemen is de voorbije decennia steeds toegenomen en daar zijn meerdere redenen voor. Ten eerste begint het groeiseizoen steeds vroeger – een respons op de warmere wintertemperaturen – en eindigt het in de meeste gebieden later omdat de warmere herfsttemperaturen plantengroei veel langer toelaten. Zo wordt meer CO₂ opgenomen en vastgelegd in organische materie. De terrestrische koolstofopname groeit ook door de steeds toenemende atmosferische CO₂-concentraties, die de fotosynthese rechtstreeks stimuleren. De koolstofopslag in landecosystemen wordt nog extra ondersteund door atmosferische stikstofdepositie. Hoge stikstofdepositie, zoals in België, is negatief omdat het leidt tot dominantie van competitieve soorten, waardoor de biodiversiteit afneemt. Tegelijkertijd is stikstofdepositie wel goed voor de koolstofopslag in landecosystemen omdat het de productie van biomassa versnelt én de afbraak van plantenstrooisel vertraagt (Vicca et al., 2012; Janssens et al., 2010).



Hoewel de terrestrische koolstofsink nog toeneemt vragen veel wetenschappers zich af hoelang deze ecosystemedienst nog zal blijven duren. Indien verdere klimaatopwarming de afbraak van humus meer zou stimuleren dan de biomassa-productie, zou de koolstofsink verkleinen. Ecosystemen met heel grote koolstofvoorraden in de bodem zouden zelfs kunnen omslaan tot koolstofbronnen die de groei van de atmosferische CO₂-concentraties versterken in plaats van afremmen. Naarmate de klimaatopwarming toeneemt worden ook klimaatextremen frequenter en intenser. Observaties toonden al aan dat deze extremen, zoals een exceptionele droogte, zoveel CO₂ kunnen vrijstellen dat jaren van CO₂-opname op korte tijd teniet kunnen worden gedaan, zeker indien droogtes gepaard gaan met meer branden. Omdat de terrestrische koolstofsink zo'n belangrijke rol speelt in de klimaatopwarming, focust veel onderzoek zich op de toekomst van de koolstofsink in terrestrische ecosystemen.

Om te bestuderen hoe koolstofopname door ecosystemen evolueert en om data te verzamelen om globale koolstofcyclusmodellen te testen, worden wereldwijd koolstofluksen tussen de atmosfeer en landecosystemen continu gemeten. Europa en ook België financierden de voorbije decennia meerdere koolstofgerelateerde projecten die uiteindelijk leidden tot ICOS (Integrated Carbon Observation System - www.icos-ri.eu), een onderzoeksinfrastructuur (ESFRI - European Strategy Forum for Research Infrastructures) met meettorens in meerdere Europese landen die de broeikasgasbalansen van Europese regio's en ecosystemen gestandaardiseerd meten en dit gedurende de volgende 20 jaar zullen volhouden. Omdat ICOS niet alleen broeikasgasconcentraties en fluksen meet, maar ook veel belangrijke determinanten van de koolstofcyclus, zal dit netwerk leiden tot doorbraken in ons begrip van de koolstof- en broeikasgasbalans van Europese ecosystemen en regio's.

De auteur

Ivan A. Janssens, Universiteit Antwerpen, Center of Excellence 'Global Change Ecology'

Koolstofputten of -bronnen?

Om de programma's voor het terugdringen van broeikasgassen te ondersteunen, is het van groot belang om de dynamiek van de vegetatie en van de bijbehorende koolstoffluxen te kwantificeren en te voorspellen. Vegetatie is een essentiële koolstofput. Via fotosynthese neemt ze CO₂ uit de atmosfeer op om organisch materiaal te produceren. Menselijk ingrijpen keert dit proces echter om. Ontbossing en bosdegradatie is een van de belangrijkste oorzaken waardoor koolstofputten veranderen in koolstofbronnen. Aangestoken branden, het niet duurzaam beheren van bossen en het veranderen van de bestemming van bossen (in weiden, landbouwgronden, ...) zijn verantwoordelijk voor ongeveer 20% van de wereldwijde uitstoot van broeikasgassen. Dit is evenveel als de hele transportsector. Hoewel deze antropogene verstoringen een ingrijpend effect hebben, werd er tot dusver weinig of geen rekening mee gehouden in koolstofcyclusmodellen. Hetzelfde geldt voor de seizoensgebonden en interjaarlijkse variabiliteit van koolstoffluxen in tropische gebieden.

Gewoonlijk worden de modellen gestoffeerd met informatie afkomstig van bestaande kaarten, terreingegevens, klimaatgegevens of eenmalige satellietgegevens met een lage resolutie. Om de voorspellingen van de koolstofcyclus in tropische gebieden te verbeteren, heeft het STEREO II-project VEGECLIM gepoogd een brug te slaan tussen deskun-

digen in het modelleren van het oppervlak en deskundigen in satelliet-aardobservatie. De onderzoekers maakten gebruik van tijdreeksen van 10 jaar aan SPOT VEGETATION-gegevens: vegetatietype, seizoensgebonden en jaarlijkse evolutie, droogte-, gekapte en verbrande gebieden, ... Deze karakteristieken van het continentale oppervlak wisten ze op dynamische manier in het ORCHIDEE-model te integreren. Daarmee slaagden ze erin de ramingen van de effectieve koolstofputten en -stromen in de stroomgebieden van de Amazone en de Congo te verbeteren.

Ze hebben het model getest met de resultaten van ontbossingssimulaties voor de Democratische Republiek Congo (DRC). Het oerwoud in Midden-Afrika – het grootste tropische bosmassief na het Amazonewoud – is tot dusver relatief intact gebleven, maar wordt steeds meer bedreigd door aantasting en ontbossing, vooral voor industriële exploitatie. Het is nu mogelijk voorspellingen te maken van de koolstofbalans tot 2035, uitgaande van verschillende klimaat- en ontbossingsscenario's. Dankzij deze benadering kunnen onderzoekers nagaan of de koolstofbalans van de DRC in de loop van deze eeuw negatief blijft of positief wordt, waardoor de DRC van een koolstofput zou evolueren naar een koolstofbron. De resultaten van het project zijn van groot belang voor het uitstippelen van het REDD+-beleid en andere strategieën tegen klimaatverandering.

Valse kleurencomposiet van het Congobekken op basis van dagelijkse SPOT VEGETATION-beelden.



De auteurs

Stereo-team - BELSPO (Directie Lucht- en ruimtevaarttoepassingen)

Meer

Project VEGECLIM (UCL - UGent - LSCE)

Promotor: Pierre Defourny

<http://eoedu.belspo.be/stereo> > Bossen

Foto links:
Het VEGECLIM-project heeft ook een kaart gemaakt van alle bossen op aarde, die gebruikt werd als pronkstuk in een expositie voor het grote publiek. Bedoeling was de aandacht te vestigen op het belang en de kwetsbaarheid van bossen.

Impact van de klimaatverandering in België

Introductie

De klimaatopwarming is, zoals beschreven in het laatste Assessment Rapport van het Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC, www.ipcc.ch) een ondubbelzinnig feit, veroorzaakt door de verhoogde concentratie aan broeikasgassen in de atmosfeer. De klimaatverandering is vooral voelbaar door het optreden van extreme weersomstandigheden (extreme stormen, overstromingen, hittegolven, droogte) die in belangrijke mate afhangen van de directe omgeving waarin mensen leven. In de buurt van rivieren en kusten is er risico voor overstromingen terwijl hittegolven vooral gevoeld worden in verstedelijkte gebieden. Het inschatten van de lokale impact is een zeer veelzijdige en bijgevolg wetenschappelijk interdisciplinaire uitdaging. De sterke Belgische expertise in hogeresolutie-modellering en neerschaling is momenteel verspreid over universiteiten en onderzoeksinstituten.

Begin 2015 ging er een nieuw BELSPO-project van start genaamd CORDEX.be met als doel het opzetten van een Belgisch onderzoeksnetwerk om gedetailleerde en samenhangende klimaatinformatie te voorzien voor het inschatten van de impact van de klimaatverandering voor België. Dit project groepeerde negen partners (uit drie universiteiten, vier federale onderzoeksinstituten en VITO) die actief zijn in het ontwikkelen en gebruiken van wetenschappelijke modellen voor klimaatverandering en impactsimulaties. Het einddoel van CORDEX.be is een basis te vormen voor de ontwikkeling van Belgische klimaatdiensten.

Verwachte resultaten

Het CORDEX.be-project tracht een brug te slaan tussen het klimaatonderzoek en de samenleving door het bestuderen van de klimaateffecten die ons dagelijks leven beïnvloeden. Bovendien kunnen de resultaten

aangewend worden voor adaptatie- en mitigatiestrategieën en zijn daarom noodzakelijk ter bescherming van infrastructuur en mensenlevens. Deze creëren maatschappelijke uitdagingen, maar scheppen tegelijkertijd ook economische kansen.

De klimaatimpacten in stedelijke gebieden omvatten onder meer hittegolven en smogpieken. Extreme hittegolven, zoals deze die Europa teisterde in 2003, leiden tot een verhoogd sterftecijfer. Bovendien beïnvloeden hittegolven in sterke mate economische sectoren zoals landbouw en toerisme. In de kustgebieden daarentegen zal de combinatie van het verhoogde toekomstige zeeniveau met grote stormen, sterke gevolgen hebben voor kustbewoners en hun leefomgeving en een kost te weegbrengen voor het onderhoud van infrastructuur. Een zeldzaam weerfenomeen met hoge impact is een valwind. Behalve het feit dat deze vaak gepaard gaat met intense hagelval en bijgevolg belangrijk is voor de verzekeringssector, kunnen valwinden dramatische gevolgen hebben, zoals de 5 dodelijke slachtoffers van het Pukkelpopfestival in augustus 2011. Klimaatveranderingen hebben een impact op bestaande ecosystemen onder andere door de komst van invasieve soorten.

Verscheidene van bovengenoemde kwesties en hun impact zullen binnen het CORDEX.be-project worden behandeld. De regionale modellen zullen gebruikt worden voor de neerslagextremen, terwijl de lokale impactmodellen gespecialiseerd zijn in stedelijke effecten, stormvloed, zeegolven, emissies van vegetatie en gewasproductie. De ruimtelijk gedetailleerde klimaatprojecties kunnen worden vertaald in Belgische kaarten voor kwetsbaarheid en klimaatgevoeligheid, die op hun beurt kunnen aangewend worden door beleidsmakers.

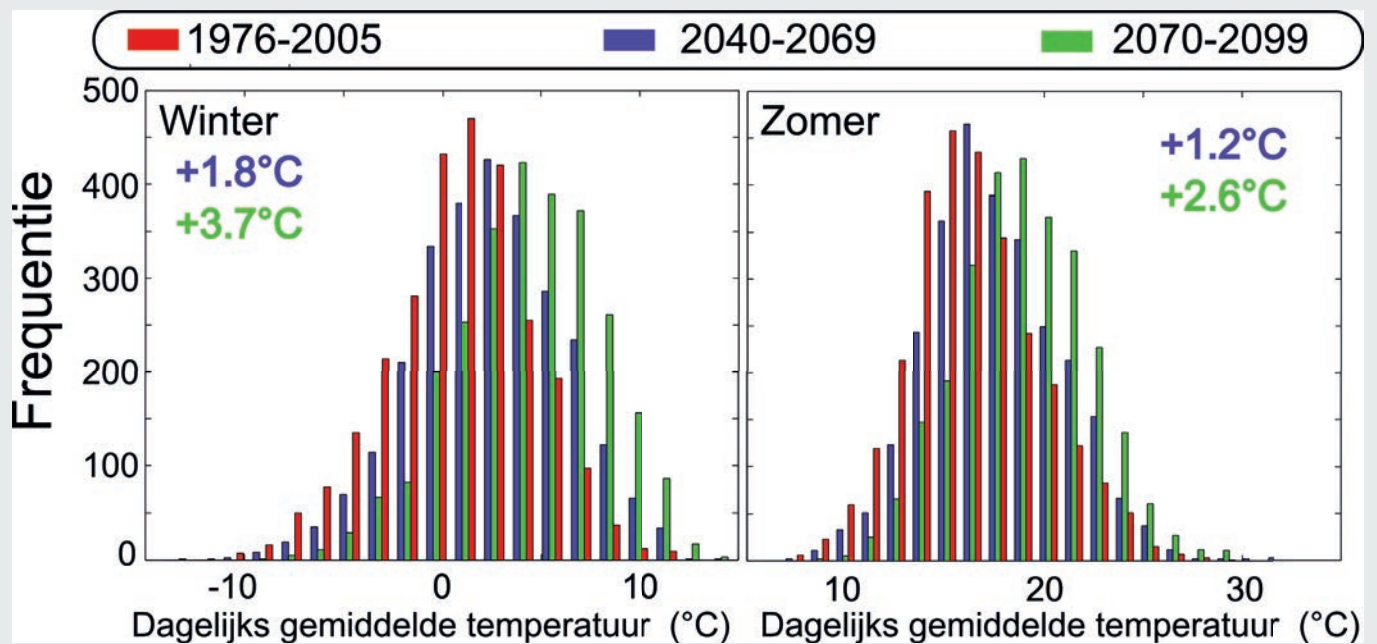


Figure 1: Frequentie van de dagelijks gemiddelde temperatuur in Ukkel in de zomer en de winter voor een historische periode (1976-2005, rood) en twee toekomstige perioden (2040-2069 en 2070-2099 in het blauw in groen). Simulaties voor de toekomstige perioden gebruiken de concentraties van broeikasgassen en aerosolen zoals voorgeschreven door het RCP8.5 scenario. Volgens dit scenario zal de temperatuur in Ukkel in de toekomst sterk toenemen en vooral in de winter. De gekleurde waarden becijferen de gemiddelde klimaatveranderingen van de twee scenario's.

Het Belgische netwerk

Het opzetten van een gecoördineerd Belgisch netwerk is zeer nuttig en zelfs onmisbaar om verscheidene redenen. De eerste en meer technische reden is dat de modellen van hoge resolutie, aangezien ze gebruikt worden op een beperkt domein, data vereisen op de domeinsgrenzen komende van modellen van lage resolutie. Dit vereist voor alle betrokken modellen gemeenschappelijke en coherente voorschriften om de resultaatvergelijking met verschillende modellen mogelijk te maken. Een tweede reden betreft de onzekerheden van de klimaatprojecties. Verschillende klimaatmodellen kunnen verschillende toekomstige klimaatprojecties produceren. De beschikbaarheid van verschillende modellen, gecombineerd met een sterke expertise van statistische neerschaling en kalibratie is dan ook noodzakelijk om de onzekerheden goed in te schatten. Tenslotte zal het netwerk de samenwerkingen binnen België aanwakken en zal bijvoorbeeld de verificatie toelaten van klimaatgegevens op basis van GNSS (Global Navigation Satellite System) afgeleide gegevens. De betrokken instituten zijn het Koninklijk Meteorolo-

gisch Instituut (KMI), de Katholieke Universiteit Leuven (KU Leuven), de Université Catholique de Louvain (UCL), de Universiteit van Luik (ULg), de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO), het Belgisch Instituut voor Ruimte-Aeronomie (BIRA), het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (KBIN) en de Koninklijke Sterrenwacht van België (KSB).

De auteurs

Het consortium Cordex.be: Piet Termonia (KMI), Rafiq Hamdi (KMI), Bert Van Schaeybroeck (KMI), Patrick Willems (KUL), Nicole Van Lipzig (KUL), Jean-Pascal van Ypersele (UCL), Philippe Marbaix (UCL), Xavier Fettweis (ULg), Koen De Ridder (VITO), Anne Gobin (VITO), Trisseygeni Stavrou (BIRA), Patrick Luyten (KBIN), Eric Pottiaux (KSB).

www.euro-cordex.net

Klimaatverandering en de Noordzee

© KBIN-Operationele Directie Natuurlijk Milieu

De Noordzee herbergt een grote rijkdom aan leven. In de zeebodem en het -water leeft een grote verscheidenheid aan dieren en planten. Aan de andere kant wordt de Noordzee ook gekenmerkt door een drukke scheepvaarttrafiek, intensieve visserij, toerisme, tal van offshore-activiteiten zoals olie- en gaswinning, de aanwezigheid van kabels en pijpleidingen, zand- en grindextractie en de aanwezigheid van windmolenparken. Dit intensief gebruik maakt dat het ecosysteem onder een sterke druk staat. Het heeft eveneens als gevolg dat de kwetsbaarheid van de ecologische, sociale en economische gemeenschap in en rond de Noordzee zeer hoog ligt voor effecten van bijkomende veranderingen, zoals klimaatveranderingen.

De klimaatverandering veroorzaakt tal van directe effecten op de Noordzee. Deze effecten omvatten o.a. de zeespiegelstijging, het mogelijk meer voorkomen van zware stormen, een toename in neerslagvariatie, verandering van erosie- en sedimentatiepatronen, temperatuurswijzigingen en veranderingen van het zoutgehalte. Er blijven echter grote onzekerheden bestaan over de directe effecten van klimaatverandering.

Een statistische analyse van de waterstanden aan de Belgische kust toont voor de periode 1927 tot 2006 een zeespiegelstijging in Oostende van 1,7 mm per jaar, een stijging die echter wel onderhevig is aan meerjaarlijkse schommelingen. De temperatuur van het zeewater steeg in de Zuidelijke Noordzee met ongeveer 0,034°C per jaar. Een analyse van de windsnelheid en van de significante golfhoogte kon, tot op heden en voor de Belgische kust, geen duidelijk klimaatrend aantonen.

Op basis van deze directe effecten zijn er natuurlijk ook indirecte effecten van klimaatverandering op het Noordzee-ecosysteem en de sociaaleconomische activiteiten

(visserij, transport en haven, overstromingsgevaar, wind-energie, toerisme) te verwachten.

Aangezien de Belgische kustvlakte maar 2 à 4 m boven de zeespiegel ligt, is ons land één van de kwetsbaarste landen van Europa inzake overstroming als gevolg van zeespiegelstijging. Het Agentschap voor Maritieme Dienstverlening en Kust (Vlaamse Gemeenschap) heeft een Geïntegreerd Kustveiligheidsplan uitgewerkt om onze veiligheid te garanderen.

De stijging van de temperatuur van het zeewater heeft bijvoorbeeld ook een invloed op de vispopulaties die in de Noordzee leven. Zo migreren meer en meer warmwater-vissoorten vanuit het Zuiden (bijvoorbeeld sardijnen en ansjovis) naar de Noordzee en belangrijke commerciële soorten, zoals kabeljauw, schol, schelvis, ... trekken meer noordwaarts, waar het water koeler is.

In het kader van het CORDEX.be-project¹, gefinancierd door BELSPO in het kader van het programma BRAIN-be, worden de gevolgen van de klimaatveranderingen op de Belgische kustwateren bestudeerd door het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen. Het project brengt negen Belgische instituten die klimaatveranderingen en de gevolgen hiervan onderzoeken samen.

De auteur

Dries Van den Eynde, Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (KBIN).

Referenties

¹www.belspo.be/belspo/brain-be/projects/CORDEX_nl.pdf

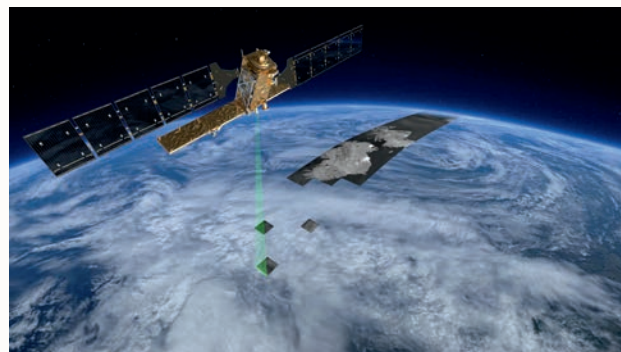
Overstromingswaarschuwing

90% van de rampen van de afgelopen twintig jaar is te wijten aan extreme hydrometeorologische gebeurtenissen: overstromingen, stormen, hittegolven, modderstromen... Volgens het IPCC zal dit nog verergeren als de gemiddelde temperatuur op aarde toeneemt. Overstromingen maken op zich al 47% uit van alle rampen. Op 20 jaar tijd hebben ze liefst 150.000 slachtoffers gemaakt en werden 2,3 miljard mensen getroffen door de gevolgen. De omvang van de schade heeft een direct verband met de bevolkingstoename en de toename van het aantal personen dat in risicogebieden woont, maar is ook gelinkt aan de keuze voor landbouwpraktijken die ongunstig zijn voor een goede waterhuishouding.

Satellietbeelden zijn onvervangbaar bij het opvolgen van rampen. Ze zijn erg nauwkeurig, kunnen meermaals hetzelfde gebied opnemen en bedekken grote oppervlaktes, en dit maakt hen tot cruciale tools voor crisismanagement. Deze beelden maken het mogelijk om risicomodellen op te maken, snel informatie aan te reiken, schade op te meten en de wederopbouw te ondersteunen. Een aantal projecten van het STEREO-programma onderzoekt hoe de verschillende fases van rampenbeheer kunnen worden verbeterd met behulp van teledetectie.

Voorspellen en opvolgen van overstromingen met behulp van radar

De projecten HYDRASENS en FLOODMOIST bestudeerden de processen die van invloed zijn op overstromingen in de stroomgebieden van de Dijle in België en de Alzette in Luxemburg. Het doel? De ontwikkeling van betrouwbaardere voorspellingsmodellen, zodat bewoners beter beschermd kunnen worden. Civiele instanties gebruiken traditioneel modellen gebaseerd op het waterniveau in rivieren. Deze houden echter geen rekening met de verza-



ESA heeft interesse in deze projecten: de Sentinel-1-missie bestaat uit twee satellieten die met een synthetic aperture radar zijn uitgerust.

digingsgraad van de bodem; hun vermogen om water op te nemen dus. Om deze belangrijke parameter te kunnen integreren hebben de onderzoekers een model geoptimaliseerd dat hydrologie en hydraulica combineert. Op *hydrologisch* vlak wordt de absorptiecapaciteit van de bodem ingeschat. Daarvoor moet het vochtgehalte van de bodem gekend zijn, dat bepaalt welk aandeel van de neerslag zal worden geabsorbeerd en welk aandeel via het oppervlak zal wegspoelen. Op het terrein wordt deze variabele opgemeten met behulp van een ground-penetrating radar. Op schaal van het hele stroomgebied wordt echter gebruik gemaakt van SAR-gegevens van radarsatellieten. Beide bodemvochtigheidsgegevens worden vervolgens op innovatieve wijze gecorreleerd. Op *hydraulisch* vlak is de omvang van de overstroming de belangrijkste variabele. Het in kaart brengen hiervan is vaak erg lastig in een stedelijke omgeving of in gebieden met een dichte vegetatie, maar de onderzoekers zijn erin geslaagd door SAR-gegevens te koppelen met numerieke terreinmodellen van hoge resolutie. Beide gegevenssets worden tot slot ingebracht in het voorspellingsmodel, dat daarmee beter gaat presteren. Door gebruik te maken van near-realtime satellietgegevens beschikken civiele instanties nu over modellen die 'live' met satellietbeelden worden gevoed. Dit stelt hen in staat gegronde beslissingen te maken inzake waarschuwingen vóór de ramp, en hulp te organiseren tijdens de crisis.



Azië is het continent waar de bevolking het zwaarst getroffen wordt: in het continent woont 95% van alle mensen die door overstromingen worden getroffen.

De auteurs

Stereo-team - BELSPO (Directie Lucht- en ruimtevaarttoepassingen)

Meer

Projecten FLOODMOIST en HYDRASENS (UGent - UCL - LIST Luxembourg - UBristol UK)

Promotor: Niko Verhoest

<http://eoedu.belspo.be/stereo> > Rampen

Meteorologie als uitlokkende factor voor sterfte en vroeggeboorte

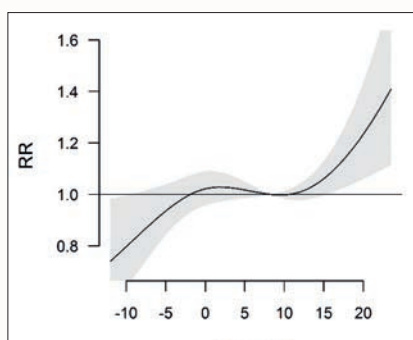
CCpeasap - SA 2.0

Verscheidende studies tonen een sterke associatie aan tussen variaties in dagelijkse sterfte en variaties in concentraties aan fijne stofdeeltjes in lucht. Momenteel is er echter nog weinig geweten over welke specifieke componenten verantwoordelijk zijn voor de geobserveerde effecten. Merk echter op dat met betrekking tot de specifieke verbanden van verontreinigingen, het SSD PARHEALTH¹ project-onderdeel ijzer, lood en zink sterkst correleert met de verhoogde bloeddruk bij ouderen. In deze context verzamelde de eenheid voor longtoxicologie (KULeuven) unieke data voor België over de associatie tussen fijne stofdeeltjes en mortaliteit (totale, cardiovasculaire en respiratoire sterfte) die aantonen dat de effecten van luchtvervuiling van fijne stofdeeltjes sterker zijn in de zomer dan in de winter, zelfs in ons gematigd klimaat. Totnogtoe kunnen we enkel speculeren over de onderliggende mechanismen van deze sterkere associaties tussen mortaliteit en stofdeeltjes in de warmere periode van het jaar, rekening houdend met de hogere fijnstofconcentraties in de winter.

Klimaatvoorspellingen vanuit het project ERA_ENVHEALTH ACCEPTED 'Assessment of Changing Conditions, Environmental Policies, Time-activities, Exposure and Disease'² tonen voor klimaatverandering op stedelijke schaal een aanzienlijke opwarming in Brussel en Parijs, met schattingen van temperatuurstijgingen tot 2050 van 1.6°C en 1.8°C respectievelijk. Veranderingen in meteorologische omstandigheden kunnen de concentratie van polluenten beïnvloeden, maar kunnen op zichzelf ook een uitlokkende factor zijn voor o.a. acute coronaire aandoeningen en vroeggeboorten. Extreme temperaturen worden verantwoordelijk geacht voor 0,86 % van de totale wereldwijde sterfte, waarbij het aandeel koude-gerelateerde sterfgevallen aanzienlijk groter is dan het aandeel hitte-gerelateerde sterfgevallen.³

Naast coronaire ziekten kunnen mogelijk ook perinatale complicaties, w.o. vroeggeboortes, door meteorologische omstandigheden worden uitgelokt. Vroeggeboorte is de belangrijkste oorzaak van perinatale morbiditeit en mortaliteit en is ook geassocieerd met sterfte later in het leven.⁴ De kortetermijneffecten van meteorologische variabelen op het risico op vroeggeboorte zijn tot nog toe maar beperkt onderzocht. Daarom onderzochten we in het kader van het project ERA_ENVHEALTH ACCEPTED de invloed van meteorologische omstandigheden op vroeggeboortes in o.a. Vlaanderen.⁵

Temperatuur tot 6 dagen voor de bevalling is geassocieerd met een verhoogd risico op vroeggeboorte van 8.8% (95% betrouwbaarheidsinterval: 0.7% tot 17.5%) voor een stijging in minimumtemperatuur van 8.3°C (50e percentiel) naar 16.3°C (95e percentiel). De overeenkomstige schatting voor een stijging in maximumtemperatuur van 14.7°C (50e percentiel) naar 26.5°C (95e percentiel) is 9.1% (95% BI: -0.3% tot 19.2%)⁴. Onze resultaten suggereren dat zwangere vrouwen zich moeten beschermen tegen extreme temperaturen. Deze bevindingen zijn belangrijk in de context van de toekomstige klimaatprojecties die een verhoging in zowel de frequentie als de intensiteit van extreme weersomstandigheden voorspellen. De relevantie van deze temperatuur gerelateerde risico's is hoog, aangezien zelfs een lichte daling in zwangerschapsduur gekoppeld is aan negatieve gezondheidseffecten vroeg en later in het leven.



Verband tussen minimumtemperatuur (6 dagen vóór de geboorte) en vroeggeboorte. De zwarte lijn geeft het relatieve risico t.o.v. de referentietemperatuur (mediaan: 8,3°C), het grijze oppervlak is het 95 % betrouwbaarheidsinterval.

De auteurs

Tim Nawrot en Bianca Cox, Universiteit Hasselt, Centrum voor Milieukunde. Dank aan Suzanne Remy (Institut scientifique de service public-ISSep) en Andy Delcloo (Koninklijk Meteorologisch Instituut) voor hun medewerking.

Referenties

¹ www.acceptedera.eu

² www.belspo.be/belspo/SSD/science/pr_health_envir_nl.stm

³ Gasparrini A et al. Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet* 2015;386(9991):369-375.

⁴ Crump C et al. Gestational age at birth and mortality in young adulthood. *JAMA* 2011;306(11):1233-1240.

⁵ Cox B et al. Ambient temperature as trigger of preterm delivery in a temperate climate. in review.

Het opsporen van opkomende ziekten

Malaria, de ziekte van Lyme, blauwtong: deze ziekten winnen elk jaar terrein. Allemaal worden ze overgedragen door kleine organismen die we vectoren of overdragers noemen, omdat ze de infectiekiemen van de ene drager naar de andere vervoeren. De verspreidingsgebieden van deze vectoren worden echter geleidelijk groter: door klimaatveranderingen komen ze nu ook voor op hoogten en op breedtegraden die tot nog toe gespaard bleven. Nieuwe, vaak erg kwetsbare regio's krijgen het hierdoor erg hard te verduren. Om de plaag het hoofd te bieden, wordt intensief onderzoek verricht om de spatiotemporele dynamiek van deze ziekten te achterhalen en om risicozones in kaart brengen. Dit moet het mogelijk maken om beter te anticiperen en epidemieën doeltreffender in te dijken.

Epidemiologie zoekt de ruimte op

Verschillende projecten binnen het STEREO-programma combineren terreindatasets (temperatuur, vochtigheid, gezondheids- en socio-economische gegevens) met gegevens van observatiesatellieten (klimaat, bodemgebruik...) om de mechanismen achter het opduiken, de verspreiding en de overdracht van infectieziekten te analyseren. Ze onderzoeken de relatie tussen klimaat, milieu en gezondheid, met als einddoel het aanleveren van nuttige tools (zoals risicokaarten) aan de volksgezondheidssector. Aan de hand van deze tools kunnen epidemieën opgevolgd en voorspeld worden.

Hoe teken de wereld veroveren

Het MULTITICK-project bestudeert welke omgevingsfactoren van invloed zijn op de verspreiding van de ziekte van Lyme in België en in de Baltische staten. Deze werden onderzocht op verschillende schalen en omvatten ook factoren die gelinkt zijn aan menselijke activiteiten. Omdat teken uiterst gevoelig zijn voor klimaatverandering en voor lokale schommelingen verandert hun verspreidingsgebied constant en breidt het zelfs uit. Het project heeft een sterk verband aangetoond met bepaalde omgevingsfactoren (soort vegetatie, temperatuur, vochtigheid enz.). Sommige daarvan kunnen uit teledetectiegegevens worden afgeleid



Schapen worden van alle herkauwers het ergst getroffen door blauwtong.

en vervolgens in modellen worden verwerkt om vast te stellen welke omstandigheden het uitbreken van de ziekte in de hand werken.

Blauwtong, een ziekte die opgevolgd moet worden

Het BLUETONGE-project spitte zich toe op de voortplanting van blauwtong, een virale ziekte bij herkauwers die wordt overgebracht door muggen. De ziekte kwam oorspronkelijk enkel voor in tropische en subtropische gebieden. Tegen 1998 had ze echter het Middellandse Zeegebied veroverd, en sindsdien rukt ze steeds verder noordwaarts op. In de zomer van 2006 werden in België de eerste gevallen van de ziekte vastgesteld, en ze blijft uitbreiden, vooral in Oost-Europa. De onderzoekers combineerden klimaatgegevens afkomstig van satellietbeelden met terreinmetingen. Aan de hand van deze data ontwikkelden ze waarschijnlijkheidsmodellen voor de aanwezigheid van verschillende mugensoorten, en modellen die hun uitbreidingsdynamiek vastleggen. De ziekte kan een zware impact hebben op de volksgezondheid en de economie. Dit soort toepassingen is dan ook van kapitaal belang als we een gecoördineerd crisismanagement willen voeren, en inzicht willen verwerven in de factoren die het besmettingsrisico beïnvloeden.

De auteurs

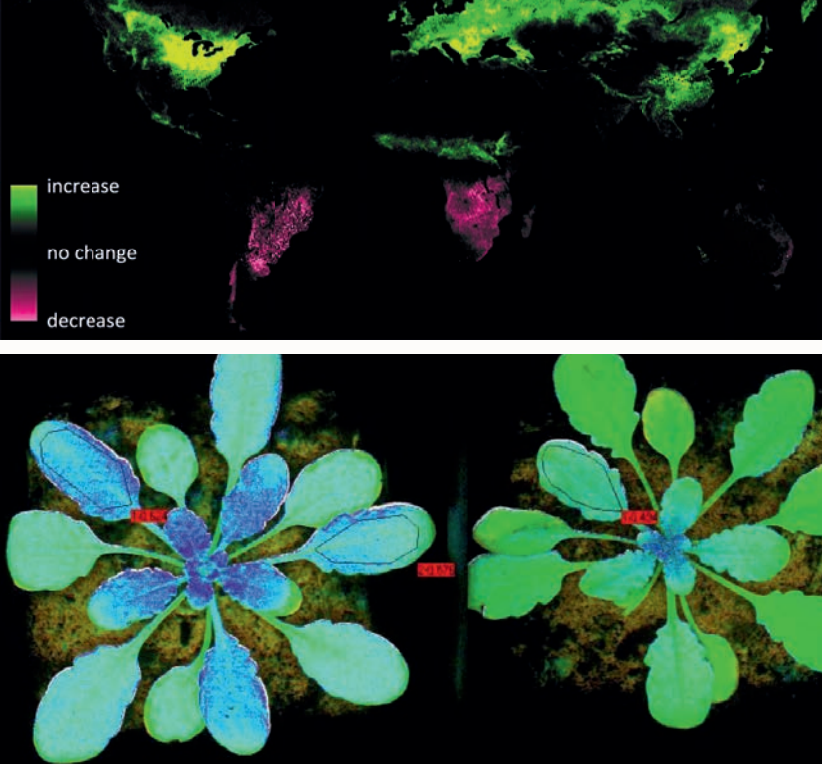
Stereo-team - BELSPO (Directie Lucht- en ruimtevaarttoepassingen)

Meer

Projecten MULTITICK (UCL) en BLUETONGUE (Avia GIS-ITM)
Promotoren: Sophie Vanwambeke en Guy Hendrickx
eoedu.belspo.be/stereo > Epidemiologie

Elk jaar worden duizenden mensen door de ziekte van Lyme getroffen, en hun aantal blijft stijgen.

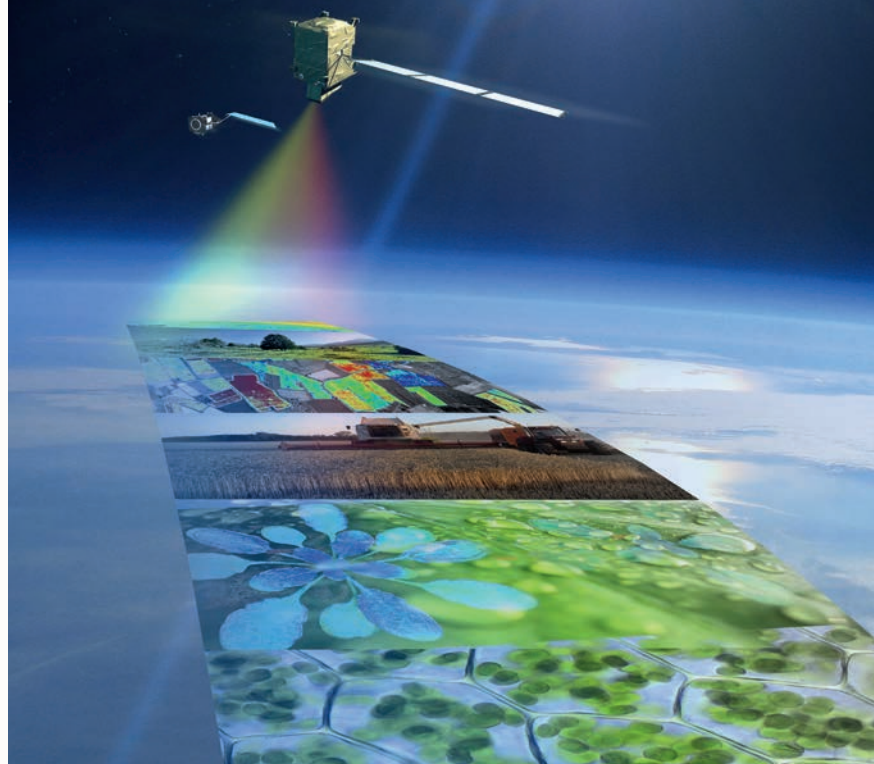




Boven: Schommelingen in de chlorofylfluorescentie tussen de noordelijke winter en de noordelijke zomer in 2011. Gegevens afkomstig van de GOME-2-sensor (Global Ozone Monitoring Experiment) aan boord van de MetOp-satelliet.

Onder: Plantfluorescentie in het laboratorium.

© U. Rascher, Forschungszentrum Jülich



De FLEX-missie van ESA levert globale kaarten van de vegetatiefluorescentie, een maat voor de fotosynthetische activiteit. Deze parameter geeft meer inzicht in de koolstofopname door planten en dus in de rol van vegetatie in de koolstof- en watercyclus.

© ESA/ATG medialab

Fluorescentie als indicator van vegetatiestress

Klimaat- en hydrologische extremen (droogte, stormen, overstromingen, hittegolven, ...) vormen een ernstige bedreiging voor de samenleving en de ecosystemen in de hele wereld. Nauwkeurige waarnemingen van de ecosystemereacties op dergelijke grootschalige verstoringen zijn dus noodzakelijk. De nieuwe globale fluorescentiemetingen zijn een veelbelovend hulpmiddel voor de studie van deze effecten. De fluorescentie van plantengroei, een subtiele gloed die het gevolg is van chemische reacties tijdens de fotosynthese, heeft een duidelijk verband met ecosystemestress. Recente studies hebben het gebruik van satelliet-fluorescentiemetingen onderzocht als indicatoren van bosgroei, maar hun rol in de reactie van vegetatie op klimaatextremen is nog onbekend terrein.

Om die studies te kunnen voltooien wordt gekeken naar aanvullende gegevens uit heel andere hoek: niet de ontwikkeling van nieuwe aardobservatietechnologieën, maar net het gebruik van oude data. Recente initiatieven hebben met behulp van bijna vier decennia aan wereldwijde waarnemingen van het milieu en het klimaat een reeks databanken opgezet, vol cruciale variabelen zoals bodemvochtigheid, evaporatie en het watergehalte in vegetatie, afkomstig van een waaier aan satellieten. Deze gegevens zijn gedurende lange tijd bijgehouden. Ze kunnen helpen zeer trage veranderingen in de hydroklimaatextremen te

onthullen, en de gevolgen daarvan op terrestrische ecosystemen.

Voor het ontwikkelen van klimaatmodellen die de toekomstige temperatuursevolutie met grote precisie willen voorspellen zijn beide types gegevens noodzakelijk: nieuwe fluorescentiewaarnemingen zowel als langetermijndatabanken. De projecten SAT-EX en STR3S van het nieuwe STEREO III-programma bestuderen hoe de droogtes, overstromingen en hittegolven van de laatste drie decennia evolueerden, en hoe ze de terrestrische ecosystemen beïnvloeden. Daarnaast onderzoeken ze hoe nieuwe technologieën (zoals fluorescentie-observaties) kunnen bijdragen aan ons inzicht in de interacties tussen klimaat en vegetatie.

De auteur

Diego Miralles, Universiteit Gent, Vakgroep Bos- en Waterbeheer

Meer

Projecten SAT-EX en STR3S (UGent - ULB - TU Wien Austria - Colombia Un.USA)

Promotoren: Diego Miralles en Niko Verhoest

<http://eo.belspo.be/Stereo3.aspx>

Energieprestaties en historische gebouwen: de uitdaging van de monumentenzorg

Inleiding

In Europa nemen de huishoudelijke en de tertiaire sector meer dan 40% van het energieverbruik voor hun rekening. Het verbeteren van de energieprestaties van gebouwen kan een vrij grote energiebesparing opleveren en dus ook een vermindering van de CO₂-uitstoot. Opdat de CO₂-uitstoot effectief zou verminderen en het Kyoto-protocol zou worden nageleefd, waren dwingende en specifieke richtlijnen nodig voor de bouwsector. Deze maatregelen werden vastgelegd in een Europese richtlijn betreffende de energieprestaties van gebouwen eind 2002. Het aspect 'duurzaam bouwen' veroverde zo een centrale plaats binnen nieuwbouwprojecten.

Voor beschermde monumenten stoot het aspect duurzaam bouwen vaak op historische, architecturale, deontologische en esthetische criteria waardoor energiebesparende maatregelen niet steeds op een even systematische wijze realiseerbaar zijn als bij nieuwbouw.

Energieprestaties en monumenten: een uitdagend duo

Binnen de oorspronkelijke eisen gesteld aan historische gebouwen was energiezuinigheid geen prioriteit. De laatste decennia echter dwingen politieke, maatschappelijke

en economische evoluties ook deze gebouwen zuiniger om te gaan met energie. Het gebrek aan ervaring met innovatieve technieken en het feit dat de doeltreffendheid alsook de verbonden risico's niet voldoende aangetoond werden voor ons gebouwenerfgoed zijn vaak een drempel voor hun toepassing in de restauratiepraktijk. De gevolgen van innovatieve ingrepen werden in het verleden niet steeds correct ingeschat, met kans op schade aan de constructie zelf, de aanwezige materialen, het milieu alsook de directe omgeving. Vanuit dit bewustzijn worden innovatieve restauratietechnieken, waaronder isolatie, heel voorzichtig gehanteerd.

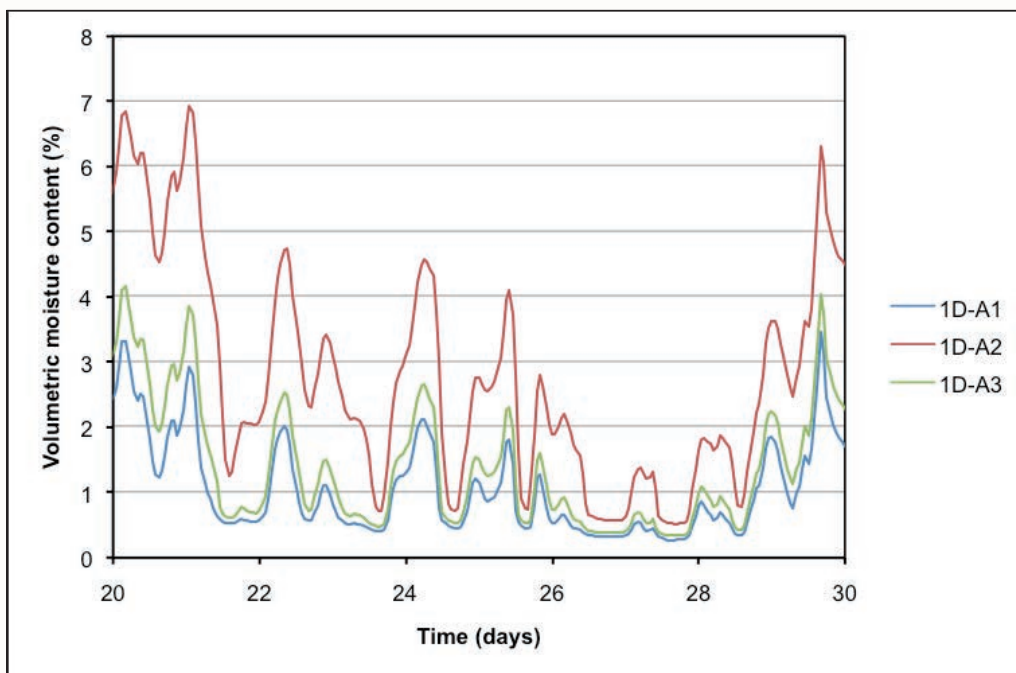
Isoleren van historische gebouwen

Isoleren is sinds verschillende decennia een centraal item in de bouwsector, hetzij gestimuleerd vanuit milieu-overwegingen, hetzij vanuit financiële overwegingen. Historische gebouwen vormen in deze een uitgelezen studieobject, niet alleen in België maar tevens in gans Europa. Wil men in de toekomst het voortbestaan van historische gebouwen verzekeren en mensen bereid vinden om erfgoed te benutten en te bewonen, zijn ingrepen noodzakelijk.

Het aanbrengen van een isolatielaag aan de buitenzijde



Figuur 1: zuidwest-achtergevel en zuid-westelijke zijgevel van het administratief centrum van de voormalige Veeartsenijschool. (© <http://bomen-inventaris.irisnet.be>, site van de Inventaris van opmerkelijke bomen van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest)



Figuur 2: gesimuleerd vochtgehalte (vol %) op 3 mm diepte in baksteen in een winterperiode, situatie niet geïsoleerd (A1) en geïsoleerd (12 cm calcium silicaat plaat, A2 en 3 cm isolerende binnenbepleistering, A3).

van historische gebouwen is vaak onwenselijk gezien hun esthetische impact. In dit geval wordt ter verbetering van de thermische prestaties van een gebouw overgegaan tot het aanbrengen van een isolatiesysteem aan de binnenzijde ervan. Door het plaatsen van een binnenisolatie tegen een bestaande (historische) gevel wijzigt meestal het vochtgehalte van de bestaande constructie, en dit als gevolg van de gewijzigde drogingsomstandigheden van de wand. Hierbij stijgt algemeen het vochtgehalte in de wand met een verhoogd risico op vorstschade tot gevolg. De kans op vorstschade kan ingeschat worden door voorafgaand een studie naar de vorstgevoeligheid van het metselwerk uit te voeren, en dit conform de klimaatomstandigheden gekenmerkt door extreme regenbelasting typerend voor ons toekomstig klimaat.

De voormalige Veeartsenijschool te Anderlecht

De Veeartsenijschool te Anderlecht is een in de wijk Kuregem gelegen site van 4 ha die tussen 1903 en 1909 werd opgetrokken in Vlaamse neorenaissancestijl. Na een geschiedenis gaande van bloei tot volledige verwaarlozing, volgt in het begin van de 21ste eeuw een herwaardering waarbij het administratief gebouw van de voormalige Veeartsenijschool van Anderlecht (figuur 1) verbouwd wordt tot centrum voor jonge bedrijven.

Risico-analyse van binnenisolatie

In opdracht van de gemeente Anderlecht, huidige eigenaar van de site, en in het kader van de herbestemming tot kantoorruimtes, heeft het laboratorium van het KIK

een risico-analyse uitgevoerd dat beoogt de 'lasttoename' van de bouwmaterialen van buitengevels, in termen van vochtbelasting en aantal vries-dooicycli, als gevolg van een binnenisolatie te benaderen. Deze analyse berust op een theoretische benadering aan de hand van modellen die het vochtgedrag in gevels simuleren. Uit een dergelijke simulatie kon worden afgeleid dat op een diepte van 3 mm de temperatuur algemeen met 2°C daalt in het baksteenmetselwerk indien calcium-silicaatplaten van 12 cm dikte als binnenisolatie worden aangebracht. Het thermisch effect is ongeveer drie keer lager in geval van een isolerende bepleistering van 3 cm dikte. Het vochtgehalte op deze diepte verdubbelt algemeen na aanbrengen van 12 cm calcium-silicaatplaten en verhoogt 5 à 25 % indien geopteerd wordt voor de geteste isolerende binnenbepleistering (figuur 2).

Uit deze studie kon worden afgeleid dat een algemene verhoging van het aantal vries-dooicycli wordt verwacht alsook van deze die een risico op schade inhouden, meer bepaald indien deze cycli gepaard gaan met een hoog vochtgehalte zoals te verwachten in ons toekomstig klimaat.

De auteur

Hilde De Clercq, Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium (KIK), Operationele directie Laboratoria

Klimaatverandering en voedselveiligheid

De levering van grondstoffen voor de landbouw is samen met de productie, de verpakking, de verwerking, het transport en de distributie van levensmiddelen goed voor 19 tot 29 % van de wereldwijde uitstoot van broeikasgassen. De agro-voedingsindustrie oefent ook heel wat druk uit op natuurlijke rijkdommen, water, stikstof en fosfaat en vooral op het landbouwareaal. Voedselsystemen duurzamer maken is dan ook een must voor een transitie naar een koolstofarme samenleving die efficiënt met hulpbronnen omspringt (De Schutter, *Transformative potential of the right to food. Report of the Special Rapporteur on the right to food*, 2014). Steeds bredere lagen van de samenleving zijn vragende partij voor een dergelijke switch en lijken zelf op zoek te gaan naar alternatieven. De consensus over productivisme in de agro-voedingsindustrie, die na de Tweede Wereldoorlog ontstond, lijkt bovendien een groot deel van zijn aantrekkingskracht te hebben verloren en moet deels plaats ruimen voor allerlei nieuwe benaderingen en waardeoriëntaties. Economische efficiëntie en technologische optimalisering blijven belangrijk, maar er gaat meer aandacht naar voedselkwaliteit, voedselveiligheid, de impact op het milieu, het efficiënt omspringen met hulpbronnen en billijkheid, stuk voor stuk even belangrijke 'leidraden' voor productinnovatie en nieuwe consumptiepatronen.

De wetenschappelijke gemeenschap heeft die verschuiving bij de consument vastgesteld en legt een verband met de uitdagingen waar de agro-voedingsindustrie voor staat. Volgens internationale experts zijn 'duurzame diëten' diëten met een geringe impact op het milieu die bijdragen tot voedsel- en voedingszekerheid en tot een gezonde levensstijl voor de huidige en toekomstige generaties. Duurzame diëten beschermen en hebben respect voor de biodiversiteit en de ecosystemen en zijn cultureel aanvaardbaar, toegankelijk, economisch eerlijk en betaalbaar; ze zijn voedzaam, veilig, en gezond; en ze benutten natuurlijke en menselijke rijkdommen optimaal' (*International Scientific Symposium Biodiversity and Sustainable Diets*, 2010).

Conventionele marktstimuli en richtlijnen houden steeds vaker rekening met deze nieuwe aandachtspunten. De meeste hervormingen draaien echter op niets uit omdat ze gedrag van buitenaf willen beïnvloeden en niet van binnenuit: fiscale en regelgevende instrumenten worden ingezet om voor de juiste incentives te zorgen. De waarden waar actoren echt om geven, de sociale normen die ze voorstaan of de druk die ze van hun omgeving ondergaan, worden echter helemaal over het hoofd gezien. Het BELSPO-pro-



gramma Brain-be financiert het onderzoek in het kader van Food4Sustainability dat die 'intrinsieke' motivators wil doorgronden en achterhalen welke rol ze in dit transitieproces kunnen spelen (www.food4sustainability.be). De hypothese van dit project is dat allerlei sociale vernieuwingen op een kostenefficiënte manier kunnen worden ondersteund door de regelgevende instrumenten te hervormen. We hebben in het bijzonder meer nood aan projectbegeleidende instrumenten die ook intrinsieke motivators in vraag stellen en promoten (zoals erkenning van persoonlijke waarden en sociale normen), aangezien deze het gedrag van de partijen achter de transitiesystemen in belangrijke mate bepalen (Dedeurwaerdere, *Combining internal and external motivations in multi-actor governance arrangements*, Env. Sc. & Policy, 2016). We testen deze hypothese specifiek uit op het beheer van de agro-voedingsindustrie en trekken hieruit lessen voor het beleid. We brengen niet alleen collectieve processen in transitiepaden in grote voedselketens in kaart, maar ook in korte bevoorradingsketens en in initiatieven voor duurzame diëten die bijdragen tot een koolstofarme agro-voedingsindustrie die efficiënt met de natuurlijke bronnen omspringt.

De auteurs

Olivier De Schutter en Tom Dedeurwaerdere, Université catholique de Louvain, Centre de Philosophie du droit



Het vergroenen van de stad biedt een kostenefficiënt antwoord op sociale uitdagingen zoals klimaatopwarming, waterregulatie, menselijke gezondheid en welzijn. Terzelfdertijd verhoogt het de biodiversiteit in de stad. Hier: Green Park London. Foto CC Hachimaki-SA 2.0

De natuur als oplossing voor maatschappelijke uitdagingen

Een geïntegreerde aanpak

Natuurgebaseerde oplossingen winnen wereldwijd aan belang onder beheerders, stadsplanners, beleidsmakers en zakenmensen. De natuur wordt ingezet om prangende problemen op te lossen, zoals klimaatverandering, voedselveiligheid en watervoorziening. Maar natuurgebaseerde oplossingen zijn meer dan dat. Ze hebben ook een positief effect op biodiversiteit en op veerkracht van ecosystemen, en stimuleren economie en tewerkstelling. Ze worden vaak ingezet om de volksgezondheid en het welzijn in steden te bevorderen. Natuurgebaseerde oplossingen integreren sociale factoren zoals welzijn, armoedebestrijding en socio-economische ontwikkeling en vormen aldus een aanvulling op traditioneel natuurbehoud.

Niettemin staande 'natuurgebaseerde oplossingen' een vrij recent concept is, is de kracht van natuur niets nieuws. Al eeuwenlang levert de natuur basisvoorzieningen zoals water, voedsel, energie, beschutting, grondstoffen en geneesmiddelen. Echter, met onze exponentiële bevolkingsgroei en niet-duurzaam landgebruik lijken we de grenzen van mens en planeet steeds verder te overschrijden. Zuiver technologische oplossingen zijn vaak niet meer toereikend om het tij te keren.

Natuurgebaseerde oplossingen kunnen een alternatief bieden voor het verspillende en kortzichtig economisch groeimodel. De bescherming van mangroves is een mooi voorbeeld. Ze zorgen voor hout (brandstof en bouw materiaal) voor de lokale bevolking en beschermen bewoners van de kustgebieden tegen stormen en vloedgolven. De wortels houden de sedimenten vast en zijn op deze manier een enorme hulp tegen erosie van de kustlijn. Bovendien vormen ze voortplantingsgebieden en broedkamers voor kreeftachtige, vissen en mollusken die in zee leven.

Groen in de stad

Door de klimaatverandering zullen perioden met hoge temperaturen vaker optreden en langer duren. Hitte en droogte vormen daardoor een steeds groter maatschappelijk probleem, ook in steden. Gebouwen en asfalt houden warmte vast waardoor de temperatuur in een stedelijk gebied tot 10°C hoger kan zijn dan in het omliggende gebied. Het vergroenen van steden (meer parken en groene daken) is een adaptieve maatregel die voor meerdere klimaatproblemen effectief is gebleken, en bovendien bijdraagt tot een aantrekkelijke leefomgeving. Groene daken en gevels vangen bovendien regen op, zodat niet al het water direct

het riool inloopt. Daarnaast isoleert groen tegen de gevel en op het dak, zodat afkoeling of verwarming minder nodig is. Ook hier is oog voor biodiversiteit cruciaal: niet alle planten en bomen zijn bestand tegen de komende klimaatverandering met meer en langere periodes van droogte, pieken in regenbuien en uitzonderlijke koude in de winter. Het vergroenen van de stad vergt een geïntegreerde aanpak.

Met het stijgende zeewaterniveau, het mogelijk verhoogde debiet van rivieren en de uitbreiding van stedelijke gebieden zullen bovendien steeds meer regio's kampen met onvoldoende overstromingsbescherming. Ook hier kan het gebruik van natuurelementen (bijv. ontwerp van multifunctionele waterkanten) een duurzame oplossing bieden om het risico van overstromingen in stedelijke gebieden terug te dringen. Bovendien bieden dergelijke gebieden vaak extra recreatiemogelijkheden.

Natuur en klimaat

Natuurgebaseerde oplossingen werken ook op grotere schaal. Zo is ontbossing verantwoordelijk voor 20 procent van de mondiale CO₂-uitstoot. Om het broeikaseffect tegen te gaan via een gevoelige CO₂-reductie is het daarom van belang om in eerste instantie ontbossing te voorkomen, en daarnaast te investeren in herbebossing en bosherstel. Meer bos leidt over het algemeen tot extra opname van CO₂. Bovendien stabiliseren bossen de bodem, hetgeen risico op erosie verlaagt. Ook veengebieden vormen we-

reldwijd een gigantische duurzame opslagplaats voor CO₂. Maatregelen die deze ecosystemen beschermen, en simultaan oog hebben voor socio-economische behoeften, zijn daarom efficiënt én duurzaam.

De oplossing?

Doordat natuurgebaseerde oplossingen intuïtief gemakkelijk te begrijpen zijn, slaan diverse stakeholders samen de handen uit de mouwen, hetgeen de slaagkansen ervan gevoelig verhoogt. Echter, of natuurgebaseerde oplossingen effectief de sleutel vormen om sociaal-ecologische doelstellingen van duurzaamheid voor de ganse mensheid te realiseren, valt nog te bezien. Veel zal immers afhangen van een correcte toepassing ervan, d.w.z. met oog voor behoud van biodiversiteit, ecosysteemdiensten en lokale gemeenschapsrechten. Het gevaar dat het economische voordeel de bovenhand zal halen, is reëel, met alle nefaste gevolgen van dien. We moeten dus waakzaam blijven en een balanseconomie beogen in evenwicht met wat mensen en natuur kunnen dragen. Aandacht moet blijven uitgaan naar innovatieve oplossingen die ecologisch efficiënt, economisch haalbaar en sociaal rechtvaardig zijn.

De auteur

Hilde Eggermont, Belgisch Biodiversiteitsplatform

Zicht op de groene daken in Stuttgart, Duitsland, een van de eerste steden die een wet invoerde waarbij nieuwe gebouwen moeten voorzien zijn van een groendak.
© 2013 Diane Cook & Len Jenschel



'Verander de samenleving, niet het klimaat'

Deze ongetwijfeld ietwat simplistische slagzin wijst wel op de grote sociaaleconomische uitdagingen waar we door de klimaatverandering voor staan. Twee sleutelwoorden zijn hierbij belangrijk: beperken en aanpassen.

Reboundeffect

Onze samenleving is voor grote en kleine zaken op fossiele energie aangewezen. Onder groot verstaan we groei, investeringen en infrastructuur; onder klein de hedendaagse levensstijlnormen zoals consumptie, comfort en verplaatsingen. Het HECORE-project toonde aan dat het aandeel van energie in het huishoudbudget de afgelopen 40 jaar nauwelijks is veranderd: het evolueerde van 5,9 % in 1958 naar 5 % in 2001. In diezelfde periode is er heel wat vooruitgang op het vlak van energiezuinigheid geboekt (denk bijvoorbeeld aan de auto's), maar die winst wordt grotendeels ongedaan gemaakt door allerlei vormen van 'reboundeffecten' die datzelfde project ook heeft bestudeerd. Heel wat werken tonen aan hoe moeilijk het is om het energieverbruik bij te sturen dat het resultaat is van diepgewortelde gebruiken.¹

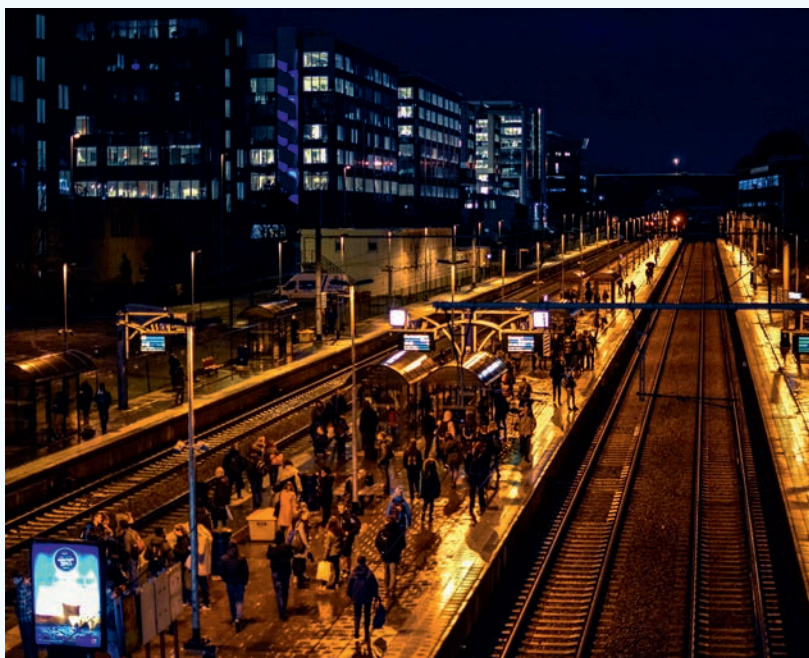
Omdat de energiefactuur maar een relatief klein aandeel in het totaal huishoudbudget vertegenwoordigt, is er geen economische incentive voor burgers om hun consumptie te verlagen. Een energie- of koolstofaks is een economisch gerechtvaardigde aanbeveling, maar zonder begeleidende maatregelen wordt het probleem van de energiearmoede alleen maar groter.²

Koolstofarme samenleving

Dit soort vaststellingen lag aan de basis van een ander project dat momenteel loopt: SUSPENS. Dat bestudeert de voorwaarden voor een overgang naar een koolstofarme samenleving die milieudoelstellingen en sociale rechtvaardigheid weet te verzoenen. Hiervoor is een databank nodig die informatie combineert over het inkomen en het consumptiegedrag van huishoudens in België en over de impact van die consumptie op het milieu, die de verbanden tussen deze factoren in kaart brengt en die een beeld schetst van het huidige beleidskader voor een koolstofarme samenleving in België.

Aanpassing

Deze projecten zijn illustratief voor de grote uitdagingen op middellange termijn. Is een snelle en grootschalige verlaging van het fossiel energieverbruik mogelijk en wat zijn de gevolgen hiervan? En wat houdt een echte aanpassing



© Enzo Leroy

aan de klimaatverandering precies in? Een thema met heel wat facetten, waarbij fenomenen, sociale groepen en de tijdshorizon een bepalende rol spelen.

De auteurs

Edwin Zaccai, Université libre de Bruxelles, Centre d'Études du Développement Durable en Kevin Marechal, Université libre de Bruxelles, Centre d'Études économiques et sociales de l'Environnement

Noten

¹ Maréchal K. en Holzemer, L. (2015), *Getting a (sustainable) grip on energy consumption: the importance of household dynamics and 'habitual practices'*, Energy Research and Social Science 10: 228-239.

² Barometer energiearmoede in België:
www.kbs-frb.be/fr/Activities/Publications/2015/20151123NT1

Referenties

- www.belspo.be/belspo/ssd/science/projects/HECORE%20E.pdf
- www.belspo.be/belspo/brain-be/projects/SUSPENS_en.pdf
- Maréchal K., *The economics of climate change and the change of climate in economics*, Routledge, Londen en New-York, 2012
- van Gameren V., Weikmans R., Zaccai E., *L'adaptation au changement climatique*, Repères, La Découverte, 2014

De rol van de overheid om een koolstofarme maatschappij te stimuleren

Het aantal mensen dat de voorbije jaren hun huis energie-efficiënt (ver)bouwde, is in stijgende lijn maar niet zo groot als gedacht. Nochtans is er een groot maatschappelijk draagvlak voor het aanpakken van klimaatproblemen. Dat werd wel duidelijk tijdens de klimaatconferentie in Parijs. In een koolstofarme maatschappij proberen we zo min mogelijk fossiele brandstoffen te gebruiken, grondstoffen en producten te recyclen om zo de emissies van CO₂ te verminderen en de klimaatverandering een halt toe te roepen.

Het onderzoeksproject ALPI¹, gefinancierd door BELSPO in het kader van het programma Brain-be, wil een aantal beleidsinstrumenten ter ondersteuning van een koolstofarme maatschappij onder de loep nemen. De overheid kan door subsidies, belastingvoordelen of informatiecampagnes burgers aanzetten om hun koolstofvoetafdruk te verminderen. Maar de overheid is ook zelf consument, 28% van de totale Europese consumptie gebeurt door overheden. Denk aan de aankoop van kantoormaterialen, gebouwen maar ook voeding in de personeelsrestaurants.



Is de overheid een duurzame consument?

Door de Europese regelgeving rond *green public procurement* (GPP) zullen die overheden milieubewuste aankopen doen. Neem nu het geval van hout en stel dat alle overheden alleen maar gecertificeerde houtproducten kopen. De certificering zorgt ervoor dat er minder illegale houtkap gebeurt. Onderzoekers in het ALPI-project konden aantonen dat op korte termijn die aankoop van gecertificeerd hout een effect heeft op de wereldwijde handel van houtstromen. De meeste regio's wereldwijd voldoen aan hun eigen vraag voor gecertificeerd hout. De productie ervan stijgt in Europa en Amerika. Verbazend is dat het vooral de handel van niet-gecertificeerd hout is die toeneemt. De prijs daalt voor conventioneel hout, de consumptie stijgt dus waardoor meer conventioneel hout geproduceerd wordt voornamelijk in Afrika. Dit is in tegenstelling met het oorspronkelijke doel van GPP, namelijk ook in de landen in het Zuiden een meer duurzame productie stimuleren. Certificering is voor kleinschalige houtproducenten in het Zuiden vaak een te hoge kost. Het is daarom erg belangrijk dat er hier meer begeleiding komt bij de certificering. Deze analyse toont aan dat het belangrijk is om globaal te kijken naar de impact van een regionaal klimaatbeleid.

Overtuigen overheidspremies voldoende?

Ondanks alle premies voor energiezuinig (ver)bouwen de laatste jaren, stijgt het aantal energie-efficiënte huizen te traag. Beleidsmakers proberen huiseigenaars te overtuigen met rationele argumenten zoals de besparing op de energiefactuur. ALPI wil aantonen dat de beslissing om al dan niet te verbouwen meer intuïtief wordt genomen. Naast financiële stimuli zouden ook meer beleidsinstrumenten daarop moeten inzetten. Doordachte sensibiliseringsacties, een beter design van het energieprestatiecertificaat, een visualisatie van het energieverbruik zijn mogelijke instrumenten.

De auteur

Ann Verspecht, Universiteit Gent, vakgroep Landbouweconomie

Meer

www.alpi.ugent.be



Noot

¹ www.belspo.be/belspo/brain-be/themes_5_Social_nl.stm#ALPI

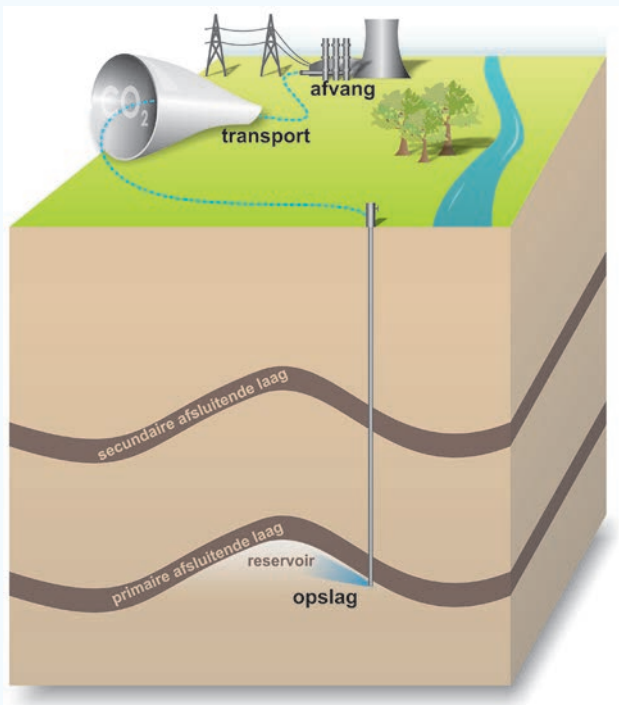
Het belang van geologische opslag van CO₂ voor België

Het afvangen en opslaan van CO₂ in geologische reservoirs is een mogelijk noodzakelijke maatregel om de gestelde klimaatdoelstellingen te halen. Ook in België is er potentieel, maar de verschillende deelaspecten van deze technologie (onder andere de benodigde opslagcapaciteit, de infrastructuur, maar ook het financiële aspect) moeten met elkaar uitgelijnd zijn om commerciële projecten mogelijk te maken.

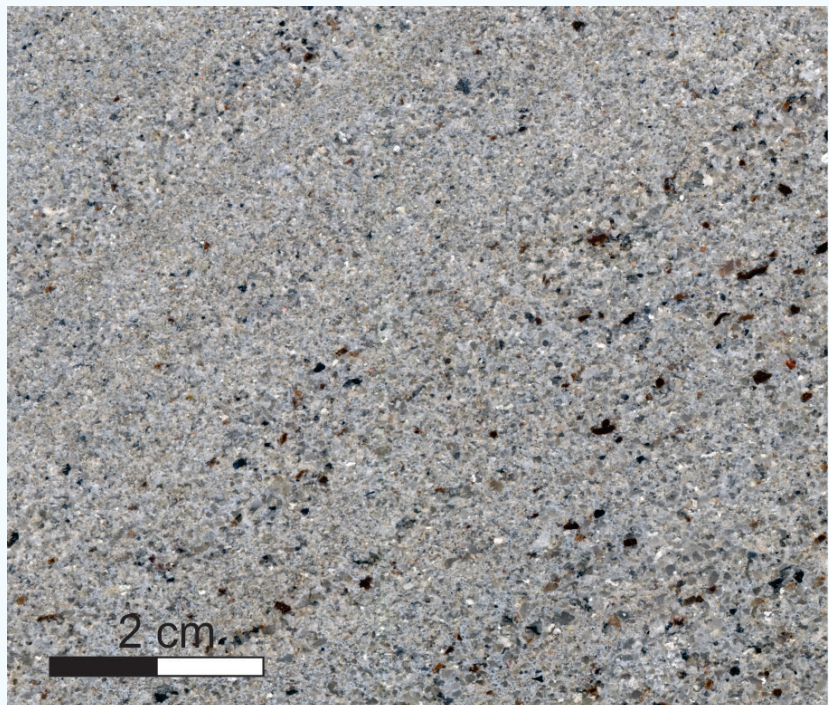
Waarom CO₂ opslaan in de diepe ondergrond?

Op de klimaattop in december in Parijs werd beslist om de opwarming van de aarde te beperken tot 2 graden, en dat zelfs gepoogd gaat worden om dit te beperken tot 1.5°C. Over de maatregelen zelf is echter niets vastgelegd. Het Internationale Energie Agentschap (IEA) geeft al enige tijd aan dat er geen unieke oplossing bestaat om de uitstoot van broeikasgassen, en in het bijzonder CO₂, op een economisch haalbare manier te beperken. De zekerste manier om dit te bereiken, is om alle mogelijke manieren in te zetten die ter beschikking zijn. Enkele oplossingen in dit portfolio zijn voor de hand liggend, en reeds goed gekend bij de man in de straat: energie-efficiëntie bijvoorbeeld, of het gebruik van hernieuwbare energiebronnen zoals zonne- of windenergie.

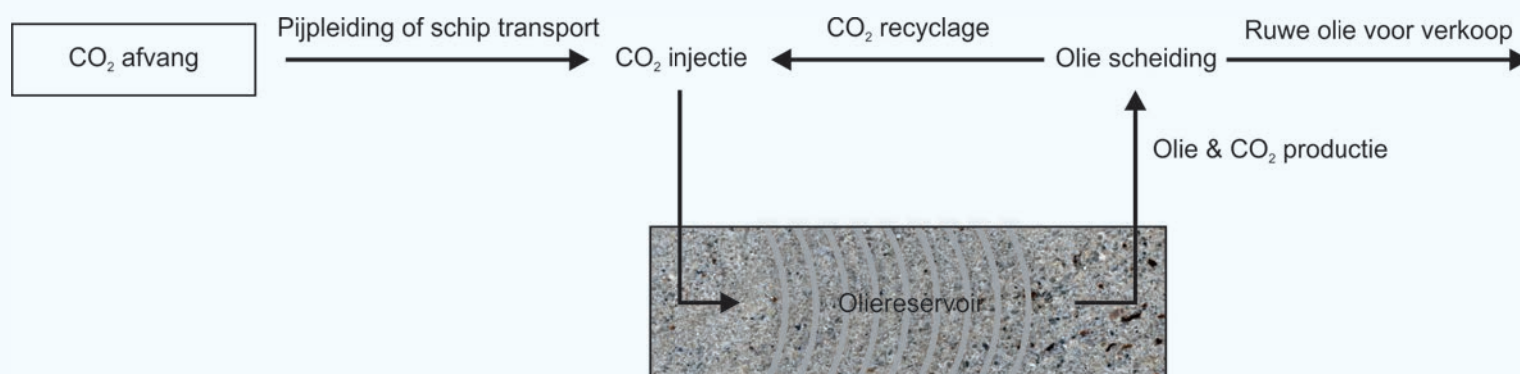
Het afvangen van CO₂-emissies en daarna opslaan in de diepe ondergrond (CO₂ capture and geological storage, CCS) is een minder gekende technologie. Het is echter een sleuteltechnologie om voor zeer grote industriële bronnen de reductie van de CO₂-uitstoot zo kosten-efficiënt mogelijk te laten verlopen. Het IEA heeft becijferd dat in het meest kosten-efficiënte scenario, CCS tot 2050 zou instaan voor 17% van de wereldwijde CO₂-reductie in 2050. Het is bovendien voor veel sectoren de enige oplossing om op korte en middellange termijn CO₂-reducties te verwezenlijken. Denk maar aan de productie van staal of kunstmest, waar alternatieve productiemethodes nog niet bestaan of in de kinderschoenen staan. Het afvangen van CO₂ uit de lucht (via de verbranding van biomassa, of in de toekomst rechtstreeks), en vervolgens de opslag in geologische reservoirs, is ook de enige mitigatieoptie die toelaat om netto negatieve emissies te creëren. Voorlopige onderzoeksresultaten van de Belgische Geologische Dienst, onderdeel van het Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (BGD-KBIN) voor bijvoorbeeld Zweden tonen aan dat sommige landen mogelijk het potentieel hebben om zelfs op nationale schaal op deze manier negatieve emissies te realiseren.



Figuur 1. De CCS-keten met afvang, transport via pijpleiding en injectie in een geologisch reservoir waar verschillende afsluitende lagen zorgen voor veilige en permanente opslag.



Figuur 2. Detailopname van een typisch reservoirgesteente (zandsteen) voor de opslag van CO₂. CO₂ wordt onder druk in de poriën geïnjecteerd.



Figuur 3. Schematische voorstelling van CO₂-enhanced oil recovery. CO₂ lost de olie op, en bij productie wordt het mengsel gescheiden waarbij de CO₂ herbruikt kan worden.

CCS in België

Wereldwijd zijn er reeds verschillende piloot-, demonstratie- en commerciële projecten die aantonen dat de technologie voorhanden is, en zelfs economisch haalbaar. Nchtans wordt herhaaldelijk het tegendeel beweerd om op politiek niveau CCS neer te sabelen. De laatste jaren is er in de verschillende EU-lidstaten een trend dat overheidssteun aan CCS projecten wordt opgezegd, waardoor het onderzoek stilvalt. Dit in tegenstelling tot de rest van de wereld, waar onderzoek en implementatie wel vooruitgaat, waar dit een tiental jaar geleden net omgekeerd was.

Specifiek voor België werden in 2005 de nationale PSS-CCS-projecten gestart met de steun van BELSPO, en gecoördineerd door de BGD-KBIN. Het doel van dit project was het onderzoeken van de haalbaarheid voor de verschillende aspecten van CCS voor België, zowel afvang, transport als opslag van CO₂. Vermits er in België, behalve voor de steenkoolmijnen, historisch weinig economische interesse was voor de diepe ondergrond, zijn mogelijke opslaglocaties weinig gekend en bestaan er grote onzekerheden. Er werd daarom een methode ontwikkeld om ondanks deze onzekerheden toch een beeld te scheppen van de opslagmogelijkheden. Uit de resultaten bleek dat door de CO₂-intensieve industrie er in ieder geval potentieel voor het afvangen is, en dat er mogelijk ook een significant opslagpotentieel is met de Kempen als meest beloftevolle locatie. De PSS-CCS-projecten bevestigen ook het belang van CCS in een evenwichtig portfolio voor elektriciteitsproductie en industrie.

Huidig onderzoek

Sinds het beëindigen van de PSS-CCS-projecten in 2011 is er vanuit de overheid geen incentive meer gekomen voor verder onderzoek naar CCS in België. Toch vormen deze onderzoeken de kritische basis voor het verder onderzoek door de Belgische Geologische Dienst, dat nog steeds wordt voortgezet en zelfs wordt uitgebreid. Een belangrijk

voorbeeld hierbij is onderzoek naar commercieel interessante opportuniteiten voor CCS, zoals het gebruik van CO₂ om olieproductie te verbeteren (CO₂-EOR, CO₂-enhanced oil recovery). Wanneer de traditionele productiemethodes voor een olieveld uitgeput zijn, blijft vaak nog meer dan de helft van de olie in de ondergrond aanwezig omwille van verschillende fysische processen zoals capillaire krachten. Wanneer CO₂ onder druk in het oliereservoir wordt geïnjecteerd lost deze de olie gedeeltelijk op, waardoor deze gemakkelijker geproduceerd kan worden. De plaats die de gewonnen olie innam, kan bovendien gebruikt worden om CO₂ verder in op te slaan. Naast de toegevoegde waarde voor het oliebedrijf, door de extra olie die verkocht kan worden, biedt deze techniek nog voordelen zoals een grotere energiezekerheid voor olie uit de Noordzee en het feit dat kosten voor het opslaan van CO₂ gedekt worden door de olieopbrengsten.

Hoewel België zelf geen olievelden heeft, biedt de nabijheid van de Noordzee wel de mogelijkheid om afgevangen CO₂ te transporteren, te gebruiken en permanent te stockeren. De industrie rond de haven van Antwerpen bijvoorbeeld is erg geschikt om CO₂ te leveren voor dergelijke CO₂-EOR-projecten, waardoor op zijn beurt relatief CO₂-arme olie beschikbaar zou komen voor de goed uitgebouwde petrochemische industrie in ons land. Het huidige onderzoek spitst zich onder meer toe op de winstgevendheid van mogelijke projecten in de Noordzee, gegeven deze economische situatie en de inherente reservoironzekerheden.

De auteurs

Kris Welkenhuysen en Kris Piessens, Belgische Geologische Dienst, Operationele Directie Aarde en Geschiedenis van het Leven, Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen (KBIN).

Ondersteuning van duurzame plantages in de Democratische Republiek Congo (DRC)

SPOT HRV-beeld met valse kleuren van de grens tussen de DRC en Rwanda ten noorden van het Kivumeer. Dichte vegetatie, donkerrood op dit beeld, toont de contouren van de Virunga en Volcanoes Nationale Parken. © CNES 2010, Distribution Airbus DS

Bosecosystemen houden meer dan 650 miljard ton koolstof vast. Dat is meer dan alle koolstof die in de atmosfeer aanwezig is. Door massale ontbossing, vooral in de grote oerbossen in de tropen, komen deze koolstofvoorraden vrij, wat leidt tot een toename van de broeikasgassen in de atmosfeer en tot klimaatopwarming. Op internationaal niveau worden verschillende initiatieven genomen om ontbossing tegen te gaan. Aardobservatieonderzoek, met name in het kader van het STEREO-programma, vormt een belangrijke bijdrage aan deze inspanningen door tools te ontwikkelen waarmee de ontbossing beter kan worden ingeschat en opgevolgd, zowel op wereldwijde als op lokale schaal.

De DRC herbebossen

Het Nationaal Park Virunga is 790.000 ha groot en ligt in het oosten van de DRC. Het omvat een keten van vulkanen en een verbluffende verscheidenheid aan habitats die een uitzonderlijke biodiversiteit huisvesten. Hoewel het erkend is als UNESCO World Heritage Site, is er een alarmerende ontbossing aan de gang. Deze is het gevolg van de uitbreiding van landbouw- en weidegronden, en van een intense illegale houtkap. Goma wordt overspoeld door boerenfamilies die op de vlucht zijn voor de voortdurende gevechten. De bevolking is er intussen al toegenomen tot meer dan een miljoen inwoners. Hout en houtskool (lokaal *makala* genaamd) zijn

de enige vlot beschikbare energiebronnen voor deze mensen. 80% hiervan wordt dagelijks gekapt in het naburige Park. In 2007 startte de WWF het EcoMakala-programma, een alternatieve productiewijze van makala gebaseerd op de aanplant van snelgroeibare boomsoorten op de kleine percelen aan de rand van het Park. Dit biedt twee voordelen: het verbetert de levensomstandigheden van de boeren, en verzekert het behoud van de bossen in het Park.

Een subsidiekaart om van koolstoffinanciering te profiteren

De EcoMakala-plantages slaan koolstof op en verminderen de ontbossing in het Nationaal Park. Ze komen dus prima in aanmerking voor koolstoffinanciering zoals voorzien in de Kyoto-overeenkomsten. Daarvoor moet echter wel aangetoond kunnen worden dat de percelen aan de vereiste criteria voldoen. Aardobservatie werd weliswaar ingezet voor grotere percelen, maar werd nog nooit eerder gebruikt voor het bepalen van de bosbedekking op kleine oppervlaktes. Het STEREO-project MORECA heeft deze leemte opgevuld. De studie maakte gebruik van SPOT-beelden met een resolutie van 20 m, en koos een classificatiemethode die is aangepast aan het bergachtige en gefragmenteerde terrein van de DRC. Op die manier slaagde ze erin subsidiekaarten op te maken, waarmee voor elk perceel de beboste oppervlakte kan worden berekend. Dit verschaftte het WWF-kantoor in Goma de vereiste bewijzen om subsidies te kunnen krijgen voor de EcoMakala-plantages. Nu de methode haar nut heeft bewezen, kan ze ingezet worden voor fondsenwerving in gebieden die moeten voldoen aan andere criteriavereisten.

Makala wordt verkocht op de plaatselijke markt.
© K.Holt/WWF-UK



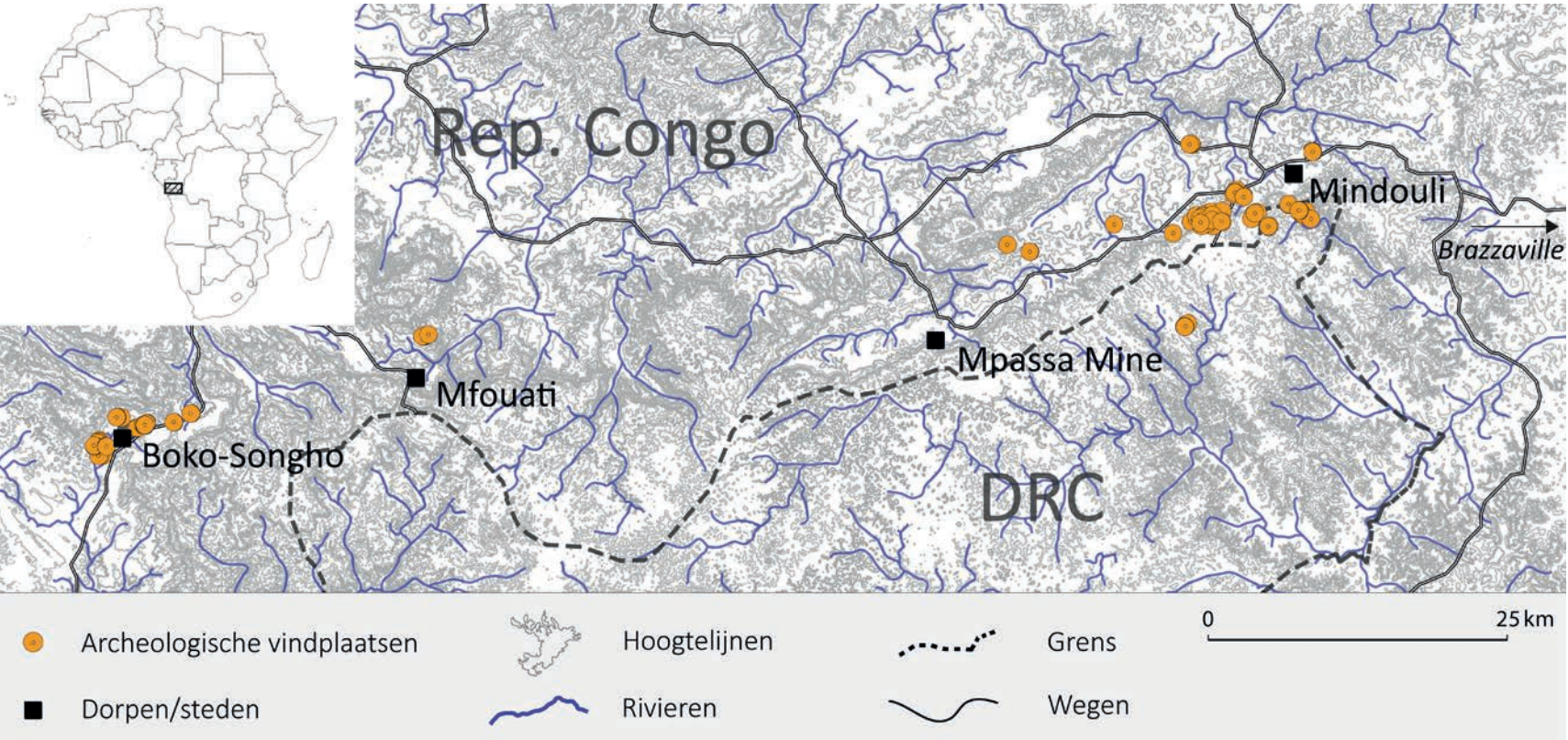
De auteurs

Stereo-team - BELSPO (Directie Lucht- en ruimtevaart-toepassingen)

Meer

Project MORECA (ULB - UCL - WWF):
<http://eoedu.belspo.be/stereo> > Afrika





Afb. 1: Kaart van de bestudeerde zones en koperproductie-sites (N. Nikis).

Het koper van Niari, een eeuwenlang gegeerde natuurlijke rijkdom

GEOLOGISCHE EN ARCHEOLOGISCHE STUDIES VAN KOPER-LOOD-ZINKMIJNEN VAN HET NIARIBEKKEN (REPUBLIEK CONGO)

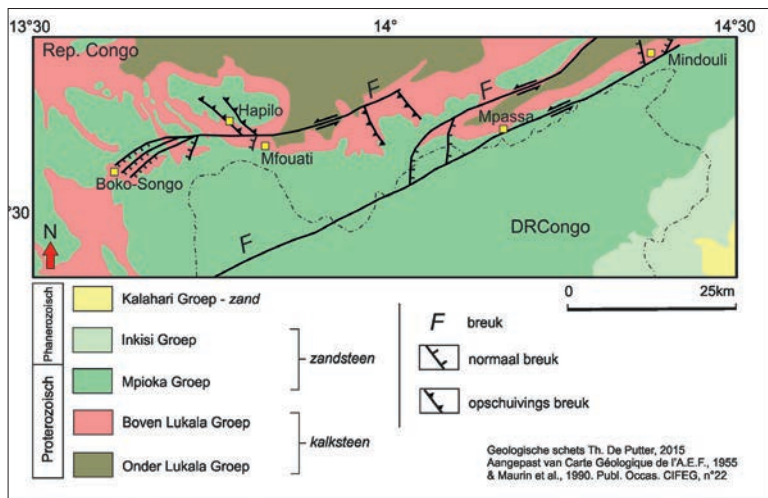
Nicolas Nikis en
Thierry De Putter

In samenwerking met de Université libre de Bruxelles (ULB) voert het Koninklijk Museum voor Midden-Afrika (KMMA) al verscheidene jaren archeologisch onderzoek uit in de koperrijke zones van het Niaribekken in de Republiek Congo (afb.1), als onderdeel van het doctoraal onderzoek van Nicolas Nikis naar de koperproductie in prekoloniaal Centraal-Afrika. Tijdens het veldwerk in de zomer van 2015 werd daaraan de expertise van geoloog Thierry De Putter gekoppeld op zoek naar de vorming van die complexe en vrij onbekende afzettingen.

Geologische context van de vindplaatsen in het district Mindouli

De koperzone van het Niaribekken, ook het mijndistrict van Mindouli genoemd, is gelegen in het zuiden van de Republiek Congo, op ongeveer 150 kilometer ten westen van de hoofdstad Brazzaville. De regio telt meerdere kopervindplaatsen – rond Mindouli, Boko-Songho en Mfouati – die langsheen een steile helling met een oost-noord-oost/west-

zuid-west oriëntatie liggen (afb.2). Deze steile helling vormt een markant kenmerk in het landschap (afb. 3), en duidt op de aanwezigheid van een reeks breuken die oude neo-proterozoïsche gesteenten (1000-540 miljoen jaar) van uit-eenlopende aard van elkaar scheiden. De zuidelijke hoogvlakten bestaan uit fijne zandsteen, terwijl het terrein ten noorden van de breuklijn bestaat uit (stromatolitische) algair kalksteen. Dit laatste gesteente heeft in ver vervlogen tijden, een belangrijke karstificatie ondergaan, hetgeen uit de aanwezigheid van oplossingsholten, karstpijpen en een netwerk van grotten (endokarst) blijkt. In een nog onbepaalde periode – maar noodzakelijkerwijs na de afzetting van de meest recente sedimenten (zandsteen) – stroomden warme, hydrothermale vloeistoffen door het poreuze en doorlatende massief, gevormd door de zandsteenrotsen, en de karst. Dit resulteerde in concentraties van koper-lood-zink sulfides en gebreccieerde gesteenten met een sulfiede matrix. Later, hoogst waarschijnlijk in de loop van het Cenozoïcum, ondergingen die sulfiede mineralen de inwerking van de oppervlaktevloeistoffen en werden geoxideerd, wat tot het ontstaan van een grote verscheidenheid



Afb. 2: Geologische kaart van de streek Mindouli, Boko-Songho en Mfouati (Th. De Putter 2015).



Afb. 3: Zicht op de steile oost-noord-oost/west-zuid-west georiënteerde en uit zandsteenafzettingen bestaande bergkam, die de regio Mindouli beheerst. Aan de voet van deze helling loopt een breuklijn (rode streepjeslijn) waar de zandsteen in contact komt met de oudere kalkstenen. Deze breuklijn heeft de circulatie van hydrothermale vloeistoffen en de vorming van de hydrothermale koper-lood-zinkmineralisatie vergemakkelijkt (Th. De Putter 2015).

aan secundaire koper-, lood en zinkmineralen heeft geleid (afb. 4). Het district Mindouli staat bij mineralogen en mineraalverzamelaars trouwens bekend voor zijn zeer zeldzame koper- (bijv. dioptaas, plancheiet) en loodmineralen (bijv. wulfeniet).

Afb. 4: Boven: Kopermineeraal bestaande uit gebande malachiet (groen) en azuriet (blauw) op een fijn, kleiachtig gesteente; het mineraal moet dus worden verbrijzeld en het malachiet moet van de steriele fasen worden gescheiden om metaal te produceren; afzetting van Mindouli, lengte 10 cm. Onder: monster botryoidale malachiet; afzetting van Boko-Songho, lengte 8 cm (Th. De Putter 2015).



De afzettingen van Mindouli door de eeuwen heen

De afzettingen in het district Mindouli bevatten, net als die in Katanga, beduidende hoeveelheden malachiet, een kopercarbonaat. Het is aangetoond dat de kennis om kopermetaal te verkrijgen door de reductie van malachiet in Katanga (Democratische Republiek Congo, DRC) bestond vanaf de tweede helft van het eerste millennium van onze tijdrekening. Sindsdien speelt koper in die hele immens uitgestrekte regio een belangrijke economische en sociale rol. Koper, dat ook het rode goud werd genoemd omdat het gebruik zo dicht aanleunde bij dat van goud elders in de wereld, werd immers door de lokale elites bijzonder gewaardeerd. De koperafzettingen bevinden zich echter geconcentreerd in enkele specifieke gebieden van Centraal-Afrika en de handel in dit metaal verliep over grote afstanden.

In de loop van het tweede millennium van onze tijdrekening hebben de afzettingen in het Niaribekken en die van Bembe, ten noordoosten van Angola, een vooraanstaande rol gespeeld in de koperbevoorrading van de diverse politieke entiteiten die in het westen van Centraal-Afrika tot stand kwamen, zoals de koninkrijken Kongo, Loango en Teke. De koperhandel wordt in Europese bronnen vermeld sinds de 16de eeuw na Christus.

Alle tegenwoordig gekende afzettingen lijken al in een zeer ver verleden te zijn ontgonnen (cfr. afb. 1) en het archeologische onderzoek van de laatste jaren suggereert dat de actieve ontginning in de streek van Mindouli dateert van het begin van de 14de eeuw (afb. 5). Daar werden meer bepaald koperen staafjes (afb. 6) vervaardigd die als ruilmiddel dienden in het handelsverkeer. Enkele aardewerkscherven die tijdens opgravingen samen met koper werden gevonden wijzen op langeafstandscontacten. Het aardewerk zou immers afkomstig zijn van de streek van de Pool Malebo (regio van Kinshasa en Brazzaville) (afb. 7). In die periode wordt tegelijkertijd een toenemende macht van de regionale machthebbers vastgesteld en blijkbaar ontstonden er conflicten om de controle te verwerven over de zones die rijk waren aan natuurlijke grondstoffen waaronder koper. In de loop

van de volgende eeuwen werd de koperproductie in stand gehouden. In de 16de eeuw meldden Portugese bronnen dat verscheidene ladingen koper door de koning van Kongo naar de koning van Portugal werden verscheept, terwijl het rode metaal in het begin van de 17de eeuw naast ivoor en hout één van de belangrijkste exportproducten was van het aan de kust gelegen koninkrijk Loango. In de streek van Boko-Songho werden sites uit de 15de-16de eeuw gevonden met sporen van metaalproductie, terwijl de aanwezigheid van een reeks smeltplaatsen uit de 16de en 17de eeuw kon worden aangetoond in de streek van Mindouli. Ondanks de concurrentie van het Europese messing, dat massaal werd ingevoerd vanuit de factorijen aan de kust, bleef de koperproductie erg levendig tot aan het einde van de 19de eeuw, wanneer de koloniale overheden de mijnen in bezit namen en een einde maakten aan de lokale ontginning. De sites uit die recente periode zijn in Mindouli gekenmerkt door het overvloedige gebruik van kleine smeltkroezen, die waarschijnlijk geijkt waren om een welbepaalde hoeveelheid koper te bevatten (afb. 8). Het in die periode geproduceerde koper bereikte, in de vorm van staven, verafgelegen streken zoals het tegenwoordige Gabon of de zone van Mbandaka, in het noordwesten van de DRC.

Diverse etnografische bronnen uit diezelfde periode beschrijven de productie en fabricage van het koper en vullen de archeologische gegevens aan. Hierdoor krijgen we inzicht in ingewikkelde en specifieke technische procedures, zoals de toevoeging van andere metalen of types mineralen (met name van lood) om de reductie te verbeteren. Dankzij de etnografische bronnen zijn we ook in staat om bepaalde materiële overblijfselen beter te begrijpen en te interpreteren (afb. 9).

De studie van de materiële sporen van de metallurgische activiteit, van afvalmateriaal (slakken of fragmenten van blaaspijpen, afb. 10) of van resten van ovens (afb. 11), leert ons dat de koperbewerking in de loop der tijd en in de verschillende bestudeerde zones belangrijke technische veranderingen heeft ondergaan.

De afzettingen van Mindouli liggen niet geïsoleerd aan de Atlantische zijde van Afrika...

De koper-lood-zinkafzettingen in het district Mindouli liggen als een krans van ertsen, langsheen breuklijnen met een oriëntatie oost-noord-oost/west-zuid-west. Deze oriëntatie is niet uniek in de regio: vergelijkbare tracés van afzettingen zijn gekend in Bas-Congo (DRC) en, meer in het zuiden, in Noord-Angola. Dit is een zone die in vroegere tijden ook lijkt te zijn ontgonnen. De afzettingen in Bas-Congo (met name Bamba Kilenda) en die in Congo-Brazzaville worden op dit ogenblik actief bestudeerd in het KMMA. Meer in het zuiden, in Namibië, vertoont de befaamde Cu-Pb-Zn-afzetting van Tsumeb ook frappante gelijkenissen met de Congolese en Angolese afzettingen. Op dit ogenblik is dit de enige afzetting waarvan kon worden bepaald dat het bovenste, geoxideerde (of supergene) deel tijdens het Mioceen werd gevormd. De werkhypothese die in het KMMA wordt getest, is dat de aanvankelijke sulfide fase van al die afzettingen verband zou houden met de circulatie van hy-



Afb. 5: Opgraving van een site voor koperproductie, daterend uit de periode tussen de 14de en de 15de eeuw, waar opgravingen bezig zijn. De donkere vlekken (rood gekleurde grond, met fragmenten van houtskool, slakken en blaaspijpen) beantwoorden aan zones waar metallurgische activiteiten hebben plaatsgevonden. Regio van Mindouli, Republiek Congo (N. Nikis 2014).

drothermale vloeistoffen tijdens de reactivering van oost-west georiënteerde netwerken van oude breuklijnen gelinkt aan de opening van de Atlantische Oceaan tijdens het Mesozoïcum (ongeveer 150 miljoen jaar geleden). Deze circulatie zou tot de vorming van vrij vergelijkbare koper-lood-zinkafzettingen hebben geleid op diverse plaatsen aan de Atlantische zijde van zuidelijk Afrika, het eerste deel van het continent dat zich van Amerika afscheidde. De supergene mineralisaties, hebben zich echter – zowel in Namibië als in de DR Congo – pas veel later gevormd, namelijk in het Mioceen, dankzij grote regionale afvlakkingen op continentale schaal.



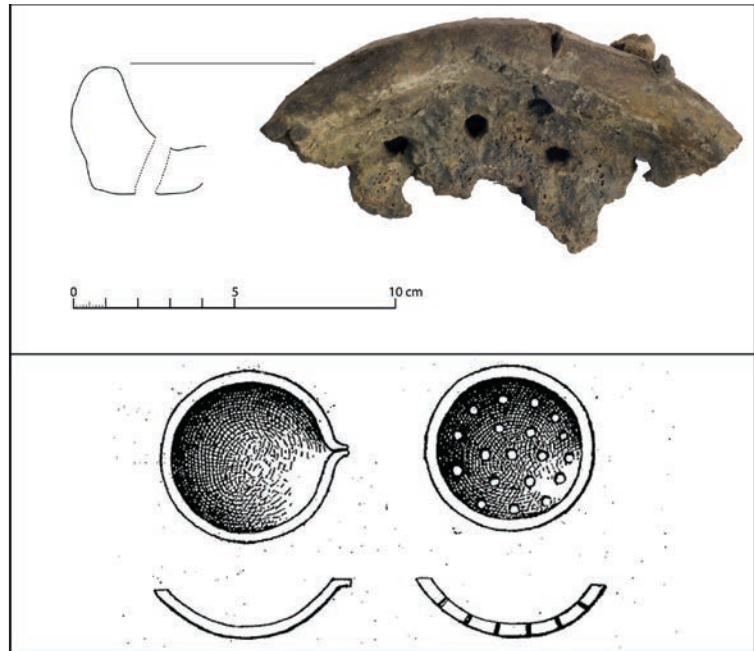
Afb. 6: Koperstaafje (13de -14de eeuw) gebruikt als ruilmiddel in het handelsverkeer, afkomstig van de streek rond Mindouli (N. Nikis 2013).



Afb. 7: Keramiekscherf (13de -14de eeuw) opgegraven in de streek van Mindouli. De scherf is vermoedelijk afkomstig uit de streek van de Pool Malebo en bewijst dat er commerciële contacten waren tussen de twee regio's (N. Nikis 2014).



Afb. 8: Kleine smeltkroes (19de eeuw) die werd gebruikt om koper te smelten. Streek van Mindouli (N. Nikis 2014).



Afb. 9: Geperforeerde terracotta (19de eeuw) opgegraven in de streek van Boko-Songho (bovenaan) en afbeelding van hetzelfde gereedschap (zonder schaal) in een tekst uit de 19de eeuw (onderaan), die een interpretatie van de archeologische overblijfselen mogelijk maakt (N. Nikis 2014 en Pleigneur 1888).

Koperafzettingen en archeometallurgie in Afrika (Brain.be-project EACoM)

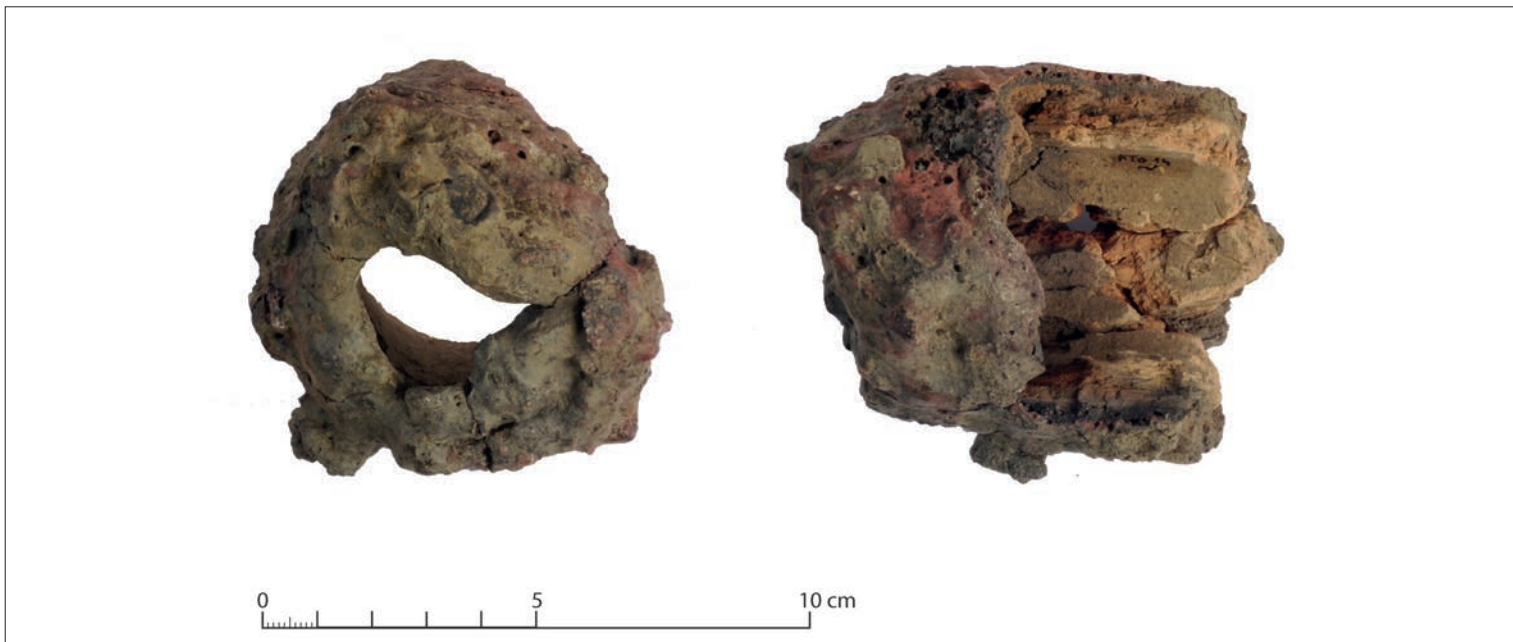
De multidisciplinaire studie van de afzettingen van basismetalen zorgt voor een wederzijdse verrijking van de methodologische aanpak van elke discipline. De geoloog besteedt meer aandacht aan de landschapskenmerken, aan de aanwezigheid en de vermoedelijke bereikbaarheid van mineralen in een pre-industriële omgeving en aan de aard van de minerale resten op archeologische vindplaatsen. Die resten zijn immers het resultaat van een ontginning van het gezochte mineraal, waardoor alleen onbruikbare producten achterblijven (silicaten of andere). De som van de zowel residuele als verdwenen componenten geeft een vrij nauwkeurig idee van het type van minerale samenstelling dat in de naburige mijnen moet worden gezocht. De archeoloog, van zijn kant, heeft een duidelijker beeld van de bevoorradingsstrategieën van de smelters uit vroegere tijden, alsook van de bij voorkeur gebruikte mineralen voor de productie van het metaal.

De geoloog en de archeoloog worden geconfronteerd met een gemeenschappelijke uitdaging, namelijk de *sourcing* en oorsprongsbepaling van de mineralen die in de prekoloniale metallurgie werden gebruikt. Een malachiet van Katanga (DR Congo) lijkt vanzelfsprekend op een malachiet van Mindouli (Republiek Congo), maar een nauwkeurige beschrijving van zowel de chemische als van de isotopische samenstelling is nodig om bij de analyse van koperen artefacten de specifieke kenmerken van de oorspronkelijke mineralen te kunnen 'traceren'.

Zo kan op termijn de herkomst gepreciseerd worden van metalen die in een archeologische context buiten de eigenlijke productie zones aangetroffen worden. Op die manier kan dan



Fig. 11: Oven voor de productie van koper. Bovenaanzicht voor het begin van de opgraving (bovenaan) en dwarsdoorsnede van de structuur tijdens de uitvoering van de studie (onderaan) (N. Nikis 2015).



Afb. 10: Voorbeeld van een blaaspijp (voorwerp gebruikt om lucht toe te voeren tijdens de reductie van het mineraal) gevonden op een site uit de 19de eeuw. Afdrukken van de houder waarrond ze werd gevormd zijn nog zichtbaar op de klei aan de binnenzijde (N. Nikis 2014).

weer de omvang van de respectieve verspreidingszones van de verschillende koperafzettingen doorheen de tijd achterhaald worden. Dit soort informatie laat toe om economische netwerken uit vroegere tijden te reconstrueren.

Omdat er zowel archeologen als natuurwetenschappers werkzaam zijn, is het Koninklijk Museum voor Midden-Afrika onbetwistbaar een bevoorrecht instituut voor de ontwikkeling van dergelijke multidisciplinaire geoarcheologische en archeometrische benaderingen. Onze studie van de koper-lood-zinkmijnen van het district Mindouli levert een concreet voorbeeld van deze unieke troef van het KMMA. Dit institutionele potentieel komt volledig tot zijn recht in het Brain.be EACoM-project (*Egyptian and African Copper Metallurgy*) dat onder leiding van Luc Delvaux (Koninklijke Musea voor Kunst en Geschiedenis, KMKG), experts van de KMKG, het KMMA, de KU Leuven en de Université libre de Bruxelles samenbrengt rond de thematiek van de koperproductie in faraonisch Egypte en in Centraal-Afrika in het prekoloniale tijdperk. Dit innoverende project wil voorwerpen die bewaard worden in de collecties van de twee musea en die verband houden met de koperproductie, terugplaatsen in hun concrete fabricageproces. Bedoeling hierbij is via een multidisciplinaire benadering en contextualisering van de objecten, de vaak minder gekende technische aspecten van hun fabricage naar juiste waarde in te schatten.

Daarnaast wordt het dankzij een samenwerking met het ERC-project *KongoKing* (European Research Council Starting Grant No. 284126 toegekend aan Koen Bostoen) mogelijk om de koperproductie in een regionale historische context te plaatsen en de contacten tussen het Niaribekken en het koninkrijk Kongo te onderzoeken.

De auteur

Thierry De Putter is geoloog en hoofd van de dienst Geodynamica en minerale rijkdommen van het Koninklijk Museum voor Midden-Afrika. Hij interesseert zich voor de vorming van minerale afzettingen en voor het gebruik en de ontginning van delfstoffen, zowel in de Oudheid (Egypte, Rome) als in recentere perioden in Afrika (prekoloniaal koper, conflictmineralen).

Nicolas Nikis is aspirant van het FRS./FNRS, verbonden aan het CReA-Patrimoine van de Université libre de Bruxelles en geassocieerd onderzoeker van de dienst Erfgoedstudies van het Koninklijk Museum voor Midden-Afrika. Zijn onderzoek over koper heeft zowel betrekking op de diverse aspecten van de productie als op de verspreidingsroutes.

Meer

<http://www.kongoking.org>
<http://eacom.be>



CC GotCredit 2.0

Sociale ongelijkheid in sterfte in België

VELE DIMENSIES, VELE OORZAKEN

Tal van studies, ook in België, tonen de negatieve associatie aan tussen socio-economische positie en sterfte. In België en in tal van Europese landen wordt daarenboven een toename van de ongelijkheid in gezondheid en sterfte waargenomen. Het CausIneq-project, gefinancierd door BELSPO in het kader van het programma BRAIN-be (zie kadertje), onderzoekt via welke mechanismen sociale verschillen in sterfte en gezondheid tot stand komen. Deze kennis is een cruciale voorwaarde voor een efficiënt 'health for all'-beleid, zowel nationaal als regionaal. Inzicht in de genererende mechanismen wordt in dit project verkregen door te focussen op de verschillende dimensies van socio-economische positie, hun additieve en interactieve effecten, en door een gedetailleerde analyse te verrichten naar oorzaak van sterfte.

In de context van een toegenomen de-standaardisatie van de levensloop, wordt de stijging van de sociale ongelijkheid in gezondheid en sterfte in dit project in verband gebracht met de instabiliteit van beroepsloopbanen en gezinsvormen. Om de onderzoeksdoelstellingen te realiseren, worden vier werkpakketten (WPs) onderscheiden. WP1 zoomt in op de langetermijnevolutie tussen 1970 en 2010 van sociale ongelijkheid in sterfte door census- en registergegevens met elkaar te koppelen. WP2 focust op de rol van de instabiliteit in de beroepsloopbaan in termen van

werkloosheid, werkloosheidsduur en werkloosheidstrajecten t.a.v. (algemene en oorzaak-specifieke) sterfte en WP3 op de relatie tussen instabiele gezinsvormen en (algemene en oorzaak-specifieke) sterfte. WP4 is complementair door de focus op gezondheid eerder dan op sterfte, waarbij vooral nagegaan wordt hoe slechte gezondheid varieert in functie van tewerkstellingsomstandigheden en gezinstypes.

Hierna volgt een overzicht van de resultaten binnen elk van de vier WP's halverwege het project.

Het multidisciplinaire kaderprogramma BRAIN-be (Belgian Research Action through Interdisciplinary Network) is een netwerk voor onderzoek dat door BELSPO werd opgezet in 2012. Het bestaat uit 6 thematische assen en pioniersprojecten betreffende de levenswetenschappen, de geosystemen (heelal en klimaat), strategisch onderzoek ter ondersteuning van de bevoegdheden van de federale overheid, het culturele, historische en wetenschappelijke erfgoed, en collectiebeheer. Tot op heden werden 125 onderzoeksprojecten gefinancierd. Lees meer op www.belspo.be/brain-be

WP1. Evolutie van de sociale verschillen in mortaliteit in België: een algemeen kader

De analyses van WP1 zijn gebaseerd op een koppeling van censusgegevens, gegevens van het Rijksregister over sterfte (en emigratie) en gegevens afkomstig van overlijdensakten.

Grote sterfteverschillen tussen sociale groepen!

In de literatuur wordt de sociale positie van individuen dikwijls gedefinieerd aan de hand van vier dimensies: het opleidingsniveau, de activiteitsstatus, de huisvestingsomstandigheden en het inkomen. Ondanks de samenhang tussen deze dimensies, kunnen ze elk een specifiek effect uitoefenen op de gezondheid. Het opleidingsniveau bijvoorbeeld zal, als indicator van het kennisniveau en van het culturele kapitaal, een belangrijke impact hebben op de houding ten aanzien van preventie, het nemen van beslissingen of het gebruik van gezondheidszorg. De drie andere dimensies hebben veeleer betrekking op de materiële levensstandaard en zijn een indicator voor de materiële en financiële toegankelijkheid tot sociale bescherming, zoals de gezondheidszorg. Uiteindelijk is het de combinatie van deze vier dimensies die de positie van individuen in het sociale continuüm bepaalt.

Op basis van de volkstellingsgegevens uit 1991 en 2001 werd een samengestelde index opgesteld bestaande uit een combinatie van de vier dimensies. Aan de hand van deze index werd een typologie van de sociale positie van individuen ontwikkeld, bestaande uit 16 groepen. Voor de analyses werden deze 16 groepen herleid tot een viertal hoofdcategorieën, variërend van kansarm tot welstellend. Elke groep omvat ongeveer een kwart van de individuen opgenomen in onze data. Individen die niet in een sociale groep konden worden ondergebracht, werden bij de categorie 'onbepaald' ingedeeld.

In 2002-2006 varieert de mortaliteit sterk naargelang de sociale groep, zowel bij mannen als bij vrouwen. Hoe groter de kansarmoede in de sociale groep, hoe lager de levensverwachting is ongeacht de leeftijd (tabel 1). De absolute verschillen in levensverwachting zijn aanzienlijk: op 25 jaar bedraagt de levensverwachting van een man uit de bevoorrechte groep 57,5 jaar, tegenover slechts 48 jaar voor een man uit de minst bevoorrechte groep, met andere woorden een verschil van bijna tien jaar. Bij vrouwen zijn de sociale sterfteverschillen minder uitgesproken: op 25 jaar bedraagt het verschil in levensverwachting tussen beide groepen vijf jaar.

De verschillen in mortaliteit tussen mannen en vrouwen variëren sterk naargelang de sociale groep: hoe kansarmer de groep, hoe groter het sterfteverschil naar geslacht. Voor de kansarme groep bedraagt dit verschil op 25 jaar meer dan 8 jaar tegenover 3,5 jaar in de bevoorrechte groep.

Tabel 1. Levensverwachting van mannen en vrouwen volgens sociale groep in jaren (België 2002-2006)

Sociale groepen	Mannen					Vrouwen				
	5 jaar	25 jaar	45 jaar	65 jaar	80 jaar	5 jaar	25 jaar	45 jaar	65 jaar	80 jaar
Kansarm	67,49	48,10	30,24	15,84	7,08	75,88	56,19	37,22	20,28	9,39
Gemiddeld laag	72,01	52,58	34,01	17,58	7,63	78,71	58,96	39,64	21,73	9,88
Gemiddeld hoog	75,11	55,71	36,68	19,12	8,52	80,64	60,86	41,36	22,90	10,68
Welstellend	77,15	57,50	38,06	20,09	8,88	80,83	61,00	41,39	22,82	11,18
Onbepaald	68,12	48,68	30,00	14,62	6,23	74,59	54,87	35,66	18,46	7,72
Totaal	71,29	51,80	32,93	16,36	7,06	77,06	57,30	37,92	20,12	8,82

Bron: ADS-Rijksregister, SEE 2001

Recente trends in de sterfteverschillen tussen sociale groepen

Tussen 1992-1996 en 2002-2006 is het verschil in levensverwachting op 25 jaar tussen de extreme sociale groepen gestegen van 7,7 naar 9,4 jaar bij mannen en van 4,2 naar 4,8 jaar bij vrouwen. De mortaliteitskloof is dus groter geworden, dit vooral bij mannen.



cc edanley - SA 2.0

Deze toename kan verklaard worden door de ongelijke toename van de levensverwachting naar sociale positie: onderaan de sociale ladder steeg de levensverwachting met 2,4 jaar bij de mannen en met 1,3 jaar bij de vrouwen. Aan de top van de sociale piramide steeg de levensverwachting met meer dan 4 jaar bij de mannen en met 2,5 jaar bij de vrouwen.

Toekomstige analyses zullen rekening houden met de doodsoorzaken, vooral om regionale verschillen in algemene sterfte beter te kaderen, en zullen de analyseperiode uitbreiden (van 1970 tot 2010 of zelfs verder).

WP2. Sociale ongelijkheid in (oorzaak-specifieke) sterfte naar tewerkstellingsstatus en tewerkstellingstrajecten

WP2 focust op de associatie tussen werkloosheid en sterfte. Tijdens de laatste decennia is de (gemiddelde) werkloosheidsgraad sterk toegenomen, komt langdurige werkloosheid steeds vaker voor en worden ook hoger opgeleiden meer door werkloosheid getroffen. De associatie tussen tewerkstellingsstatus en sterfte werd in internationaal onderzoek bevestigd, maar in België werd dit tot nu toe nog niet bestudeerd, ondanks de beschikbaarheid van data.

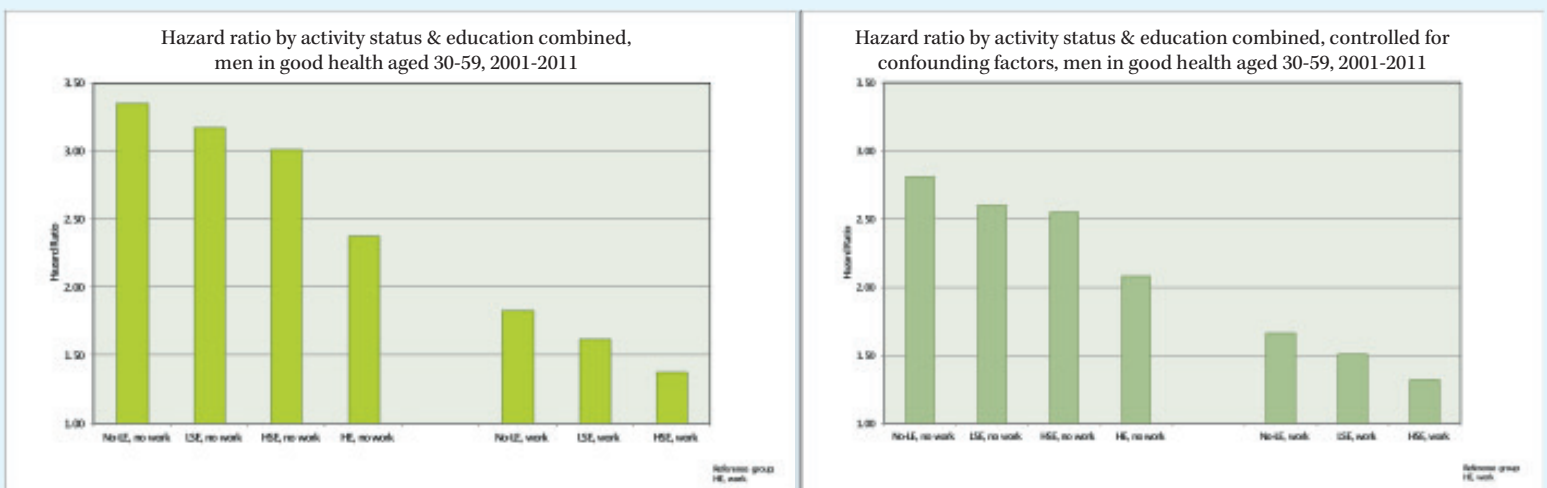
Aan de hand van een koppeling tussen de census van 2001, registerdata over sterfte (en emigratie) tijdens de periode 2001-2011 en informatie over de oorzaak van overlijden uit de sterftecertificaten, wordt in dit WP nagegaan of er een verband bestaat tussen werkloosheid en sterfte en of een hogere opleiding al dan niet een beschermend effect heeft t.a.v. de gezondheidsimpact van werkloosheid. Om selectie-effecten uit te sluiten, werden verschillende subgroepen afgebakend in de groep van 30-59-jarige mannen. Se-

lectie-effecten vormen een belangrijk struikelblok in de analyse van de gezondheidseffecten van werkloosheid, omdat een aantal personen juist door gezondheidsproblemen hun job verliest. Om dergelijke selectie-effecten te minimaliseren, werd een controle doorgevoerd voor de gezondheidsstatus van de respondenten op het moment van de census (2001) en werd de analyse beperkt tot de actief werkzoekenden en de werkenden. Andere groepen zoals personen die nooit hebben gewerkt, personen die niet werken omwille van familiale, sociale of gezondheidsredenen en gepensioneerden werden niet in de analyses opgenomen. De selectie van de betrokken bevolkingsgroep resulteerde in relatief stabiele sterfterisico's doorheen de tijd (2001-2011), hetgeen indicatief is voor het indijken van selectie-effecten.

De resultaten tonen aan dat werklozen, zelfs deze met een hoog opleidingsniveau en kwaliteitsvolle huisvesting, een hoger sterfterisico hebben dan de werkenden. Over het algemeen hebben werkloze mannen een tweemaal hoger sterftcijfer dan werkende mannen. Rekening houdende met controlefactoren zoals opleiding, huisvesting, etniciteit en gezinstype, blijft dit sterfteoverschot bestaan.

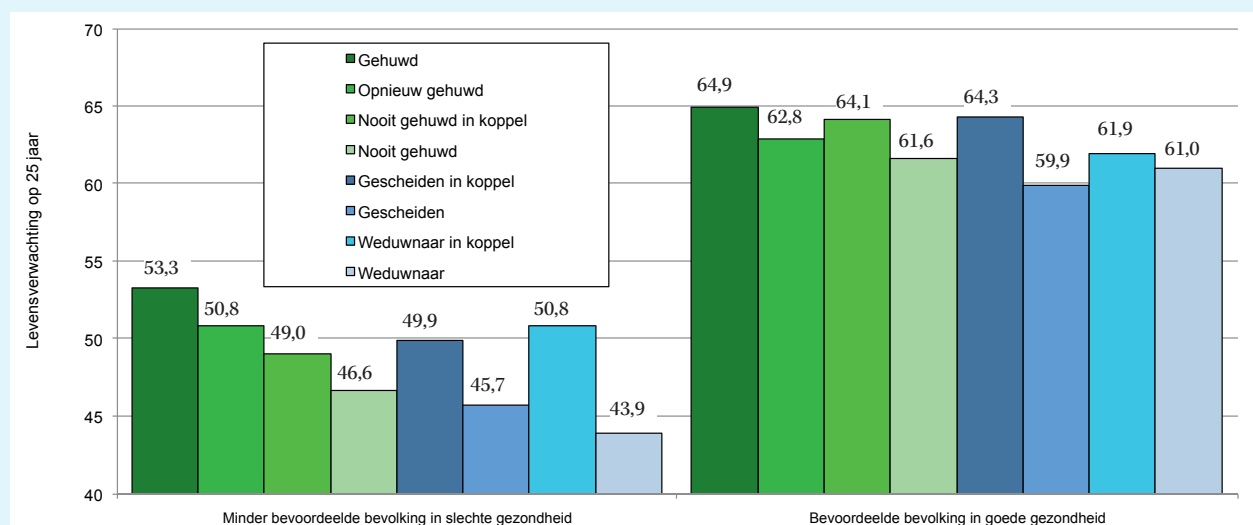
Opleiding oefent een licht beschermend effect uit, in die zin dat hoger opgeleide werklozen een iets lager sterfterisico hebben dan lager opgeleide werklozen (figuur 1). Dit geldt vooral voor de bevolking van Belgische origine, maar niet voor etnische minderheden zoals de Turkse en Marokkaanse gemeenschap in België. Het is evenwel frappant dat werklozen met een diploma hoger onderwijs een hogere sterfte hebben dan werkenden zonder diploma of met een diploma lager onderwijs.

Figuur 1: Hazard ratio naar tewerkstellingsstatus en opleiding gecombineerd, voor en na controle voor huisvesting, etniciteit en gezinstype, mannen in goede gezondheid van 30-59 jaar, 2001-2011



Bron: Census 2001, gekoppeld aan registerinformatie over sterfte en sterfteoorzaak, eigen bewerkingen

Figuur 2. Levensverwachting van 25-jarige mannen volgens burgerlijke staat en gezinstype (2002-2006)



Bron: ADS - Rijksregister, SEE 2001

Wanneer de analyses gestratificeerd worden naar opleidingsniveau, dan blijkt dat het sterfteverschil tussen werklozen en werkenden groter is bij hoger opgeleiden dan bij lager opgeleiden. Dit bevestigt de *'disappointment paradox'*-hypothese: door de hogere verwachtingen van de hoger opgeleiden is de impact van werkloosheid meer uitgesproken dan bij lager opgeleiden. Anderzijds zorgen verschillen in arbeidsomstandigheden ervoor dat hoger opgeleiden gezonder werk uitoefenen dan lager opgeleiden. Uiteindelijk leidt ook dit tot een groter verschil tussen werkenden en werklozen bij de hoger opgeleiden in vergelijking met de lager opgeleiden.

Een oorzaak-specifieke sterfteanalyse illustreert dat de oversterfte van werklozen geldt voor alle grote groepen van oorzaken. De grootste relatieve verschillen worden geobserveerd voor alcohol-gerelateerde sterfte. Deze oorzaak vertegenwoordigt evenwel slechts een klein percentage van de totale sterfte.

Uit een vergelijking van de tewerkstellingsstatus in de census van 1991 en deze van 2001 blijkt dat personen die op beide momenten werkloos zijn een aanzienlijk hogere sterfte hebben dan deze die op één van beide of op beide momenten beroepsactief waren.

In de toekomst zal de impact van de werkloosheidsduur op sterfte beter in kaart gebracht worden aan de hand van gegevens van de Kruispunbank Sociale Zekerheid – en zal ook gekeken worden naar verschillen tussen vaste en tijdelijke werknemers.

WP3. Sociale verschillen in (oorzaak-specifieke) mortaliteit volgens gezinstype en de gezinstypetrajecten

In WP3 wordt het verband tussen gezinstype, burgerlijke staat en mortaliteit onderzocht. In de huidige analyses worden de individuen ingedeeld volgens:

- de burgerlijke staat, waarbij een onderscheid gemaakt wordt tussen individuen die al dan niet als koppel leven (Rijksregister)
- de subjectieve gezondheid (volkstelling 2001);
- de sociale positie volgens de index opgesteld in WP1.

Gehuwden leven langer dan niet-gehuwden.

Uit figuur 2 blijkt dat het verschil in levensverwachting naar burgerlijke staat groter is in de sociaal achtergestelde groep en in de groep met een zwakke gezondheid. De bespreking van de onderzoeksresultaten zullen hier vooral betrekking hebben op deze groep. Hoewel de resultaten voor de bevoordeelde groep en voor de groep met een goede gezondheid kleiner zijn, laten ze dezelfde conclusies toe.

De gehuwden worden gekenmerkt door de hoogste levensverwachting. Het leven in koppelverband levert overigens ook in de andere categorieën een voordeel op vlak van levensverwachting op. Bij weduwnaars die als koppel leven, is de levensverwachting bijvoorbeeld 6,9 jaar hoger dan bij deze die niet in koppel leven, bij gescheiden mannen en vrouwen 4,2 jaar hoger en bij ongehuwden 2,4 jaar hoger.

Om deze resultaten te verklaren, kunnen verschillende hypothesen naar voren worden geschoven. Wat de hoogste levensverwachting voor gehuwden betreft, lijkt er bij het huwelijk een selectie-effect te spelen en kiest men bij het huwelijk voor individuen met een goede fysieke en geestelijke gezondheid en een hoger sociaaleconomisch niveau. Het huwelijk biedt daarnaast ook financiële bescherming: de gehuwden delen goederen en middelen en kunnen als koppel schaalvoordelen realiseren. De steun en de sociale controle die uitgaan van de partner zorgen tevens voor sociale bescherming. De aanwezigheid van een partner laat ook toe om de dagelijkse stress te verminderen. Een scheiding en het overlijden van



CC aloxe-SA 2.0

de partner zijn dan weer traumatiserende gebeurtenissen die een impact hebben op de gezondheid van de betrokken individuen.

De voorsprong van de andere posities die in koppelverband leven, kan door dezelfde sociale processen verklaard worden. De verschillen tussen samenwonenden en gehuwden zijn vermoedelijk toe te schrijven aan de sterkere cohesie tussen echtgenoten, waardoor het scheidingsrisico afneemt en de bescherming die uitgaat van het leven als koppel toeneemt. Bij de meest achtergestelde individuen ligt de levensverwachting van gehuwden bijvoorbeeld 4,3 jaar hoger dan bij ongehuwden die als koppel leven, 3,4 jaar hoger dan bij gescheiden mannen en vrouwen die als koppel leven en 2,5 jaar hoger dan bij weduwnaars die als koppel leven.

Een Poisson-regressieanalyse bevestigt deze resultaten. De aanwezigheid van een partner (gehuwd of samenwonend) doet het overlijdensrisico sterk afnemen. Toch ligt de mortaliteit van niet-gehuwden die als koppel leven 21 % tot 32 % hoger bij een gelijk sociaaleconomisch en gezondheidsniveau.

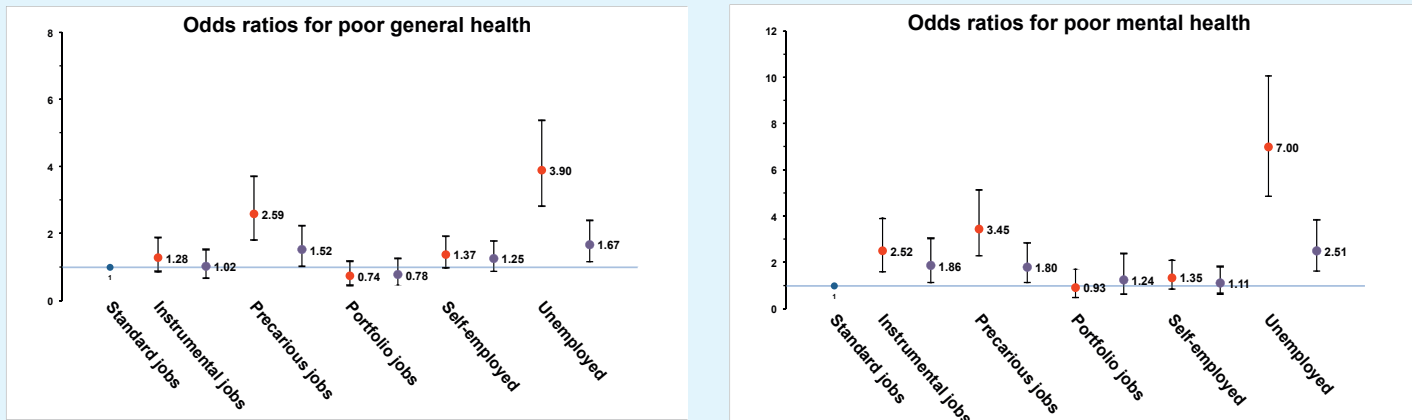
In de toekomst zullen deze analyses verfijnd worden door rekening te houden met de doodsoorzaken. Op langere termijn zal een longitudinale benadering van de ongelijkheidsanalyse ingebouwd worden.

WP 4. De wisselwerking tussen tewerkstellingsstatus en gezinstype: associaties met gezondheid in survey-data

Het vierde werkpakket binnen het onderzoeksproject heeft tot doel de zelf-gerapporteerde (mentale en algemene) gezondheid in verband te brengen met de arbeidsmarktpositie en de huishoudsituatie. Beide levensdomeinen hebben een belangrijke invloed op het vormen en in stand houden van sociale ongelijkheden in gezondheid, zoals blijkt uit WP2 en WP3. Recent wetenschappelijk onderzoek toont aan dat niet enkel verschillende vormen van arbeidsmarkt-inactiviteit, maar ook bepaalde preciaire werkvormen geassocieerd zijn met problemen op het vlak van gezondheid. Ook het huishouden is belangrijk, als leefomgeving en consumptie-eenheid. In WP4 komen beide mechanismen zowel afzonderlijk als gezamenlijk aan bod in relatie tot gezondheid. Zo willen we de samenhang tussen arbeidsgerelateerde en sociale precariteit in relatie met de gezondheid van individuen onderzoeken. Hierbij wordt gebruik gemaakt van survey-data uit de *'Generations and Gender Survey'* (GGS).

Op basis van de relevante variabelen over de arbeidsmarktpositie uit de GGS (type contract, inkomen, extralegale voordelen, flexibele werktijden omwille van persoonlijke redenen, uitzonderlijke werktijden, onvrijwillig parttime werken, lange werkuren, onregelmatige werkuren en trainingsmogelijkheden) werd een latente klassenanalyse uitgevoerd, tenein-

Figuur 3: De relatie tussen een typologie van arbeidsmarktposities en een slechte mentale (rechts) of slechte algemene (links) gezondheidstoestand



Bron: GGS, eigen bewerkingen

de een typologie van arbeidsmarktposities op te stellen. Deze typologie bevat vijf posities van activiteit (standaardjobs, instrumentele jobs, precare jobs, portfoliojobs en zelfstandig werk) en twee posities van arbeidsmarktinactiviteit (werkloosheid en andere vormen van inactiviteit op de arbeidsmarkt). Elk van deze arbeidsmarktposities blijkt sterk gerelateerd aan bepaalde socio-demografische kenmerken van individuen.

In een volgende stap brachten we de typologie van arbeidsmarktposities in verband met de mentale en de algemene gezondheid van individuen door middel van binaire logistische regressies (zie figuur 3).

Uit deze analyses blijkt dat bepaalde posities op de arbeidsmarkt sterk geassocieerd zijn met een nadelige gezondheidstoestand. Het gaat dan vooral om de inactieve arbeidsmarktposities, maar ook het precare jobtype wordt getypeerd door een relatief hoge frequentie van gezondheidsproblemen. Aangezien ook de indicatoren voor sociale precariteit een duidelijke relatie vertonen met de (mentale en algemene) gezondheid, controleren we de regressies in een laatste stap ook voor de financiële situatie en de materiële leefomstandigheden van het huishouden en voor de sociale steun waarop het individu kan rekenen. De integratie van deze indicatoren van sociale precariteit resulteert in een minder sterke relatie tussen de arbeidsmarkttypologie en gezondheidsindicatoren, maar over het algemeen blijven de relaties wel statistisch significant. Interessant is ook dat de verschillen tussen de inactieve en precare posities op de arbeidsmarkt verkleinen door de controle voor sociale precariteit. Zo laat het precare jobtype in het finale model een gelijkaardig niveau van slechte (mentale

en algemene) gezondheid optekenen als dat van de werklozen.

De resultaten wijzen eerst en vooral op het belang van zowel arbeidsmarkt-gerelateerde factoren als sociale precariteit voor de zelfgerapporteerde gezondheid van individuen. Er is een duidelijk verband tussen de verschillende arbeidsmarktposities en indicatoren voor de huishoudsituatie enerzijds en de mentale/algemene gezondheidstoestand anderzijds. De inactieven en de mensen met een job die aansluit bij het precare jobtype rapporteren het vaakst gezondheidsproblemen.

Deze analyses zullen verfijnd worden aan de hand van analyses op data uit de Arbeidskrachtenenquête.

De auteurs

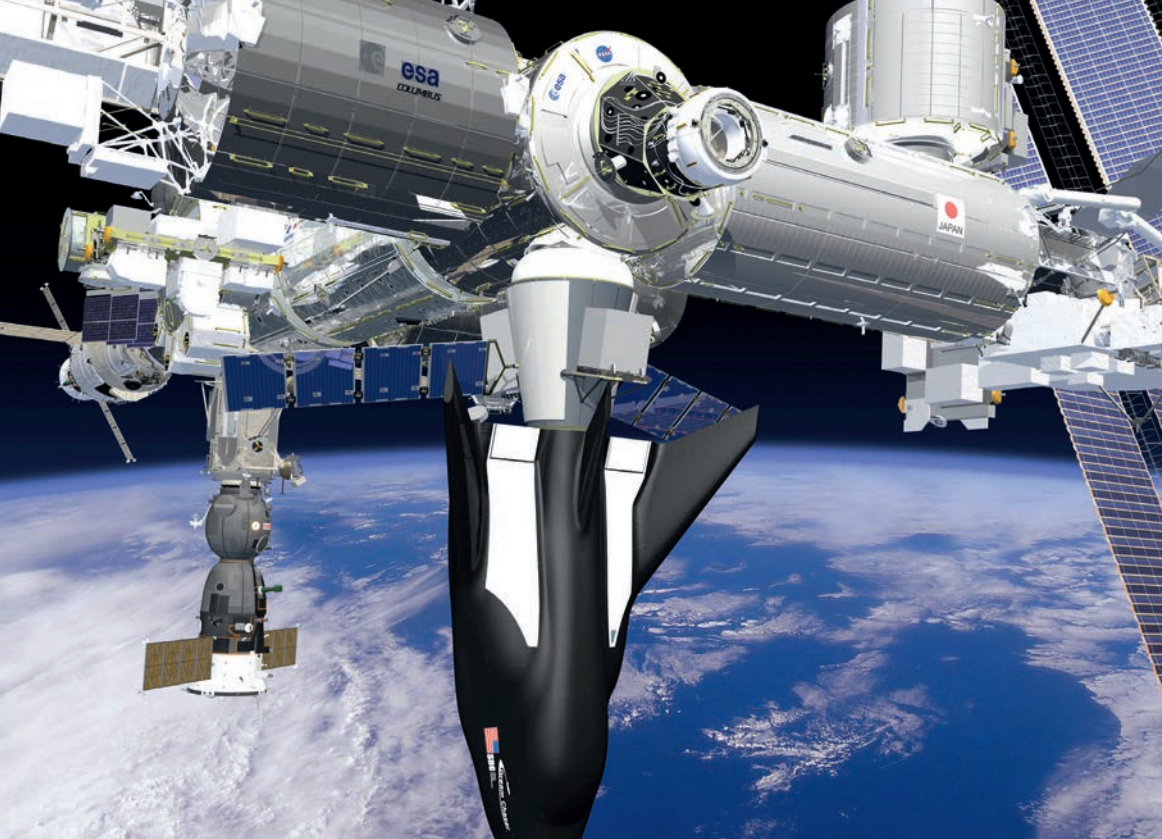
Interface Demography (Vrije Universiteit Brussel): Sylvie Gadeyne (professor), Karen Van Aerden (onderzoeker), Christophe Vanroelen (professor) en Didier Willaert (onderzoeker).

Centre de Recherche en Démographie (Université Catholique de Louvain):

Thierry Eggerickx (professor), Catherine Gourbin (professor), Paul Majérus (onderzoeker), Bruno Masquelier (professor), Jean-Paul Sanderson (onderzoeker), Karen Van Aerden (junior research associate) en Christophe Vandeschrick (onderzoeker).

Meer

www.causineq.be



Zo zal een Dream Chaser met een speciale cargomodule aan het ISS worden gekoppeld.
© Sierra Nevada Corporation

Dream Chaser met Belgische inbreng gaat ruimtestation bevoorraden

Naast twee andere door de Amerikaanse ruimtevaartorganisatie NASA gekozen ruimtecargo's is nu ook het mini-ruimteveer *Dream Chaser* uitverkoren om het internationaal ruimtestation ISS tussen 2019 en 2024 te gaan bevoorraden. Hierbij is ook een rol weggelegd voor ons land.

Eerder viel de Dream Chaser uit de boot om astronauten naar het ISS te transporteren. Maar het Amerikaanse bedrijf Sierra Nevada Corporation (SNC) liet het hierbij niet zitten en besloot toch door te gaan met de verdere ontwikkeling van het ruimtetuig, waarmee het al 10 jaar bezig is. Met succes, want de Dream Chaser zal nu vanaf 2019 in een onbemande versie minstens zes keer telkens tot 5500 kilogram cargo naar het ISS transporteren.

Met zijn opvouwbare vleugels is het mogelijk de Dream Chaser, veilig opgeborgen in de neuskegel van een gewone raket, naar de ruimte te sturen. Na een missie keert het 9 meter lange ruimtetuig als een vliegtuig op een landingsbaan naar de aarde terug, net zoals zijn vier keer grotere broer de spaceshuttle dat tussen 1981 en 2011 heeft gedaan. Dat geeft onderzoekers de mogelijkheid om al binnen enkele uren toegang te krijgen tot hun experimenten.

De Europese ruimtevaartorganisatie ESA is alvast enthousiast over het feit dat de Dream Chaser zal ingezet worden voor de bevoorrading van het ISS want ze heeft interesse in de mogelijkheden die het mini-ruimteveer biedt. ESA en Sierra Nevada Corporation (SNC) hebben twee jaar geleden een overeenkomst ondertekend om na te gaan hoe Europese hardware, software en knowhow gebruikt kan worden om de mogelijkheden van de Dream Chaser nog te vergroten.



Een Dream Chaser met opgevouwen vleugels in de neuskegel van een Atlas V-raket.
© Sierra Nevada Corporation

Dat is in het bijzonder interessant voor ESA's *International Berthing Docking Mechanism* (IBDM), een geavanceerd systeem om ruimtetuigen 'zacht' te koppelen met het ISS. Het systeem absorbeert alle relatieve bewegingen en minimaliseert de impact tussen station en ruimteschip. Hierbij is een bijzondere rol weggelegd voor het bedrijf QinetiQ Space in Kruibeke bij Antwerpen, dat de ontwikkeling van het IBDM leidt. Een en ander zou goed zijn voor een contract ter waarde van verschillende miljoenen euro. Vorig jaar testte het in België gevestigde team van QinetiQ reeds uitvoerig en met succes een IBDM-model in het Johnson Space Center in Houston.

De Dream Chaser zou aan de achterzijde met een dergelijk systeem uitgerust worden om een koppeling te kunnen uitvoeren met het ISS. De Amerikanen zouden een prototype van het IBDM krijgen, maar volgende exemplaren moeten op commerciële basis gekocht worden.

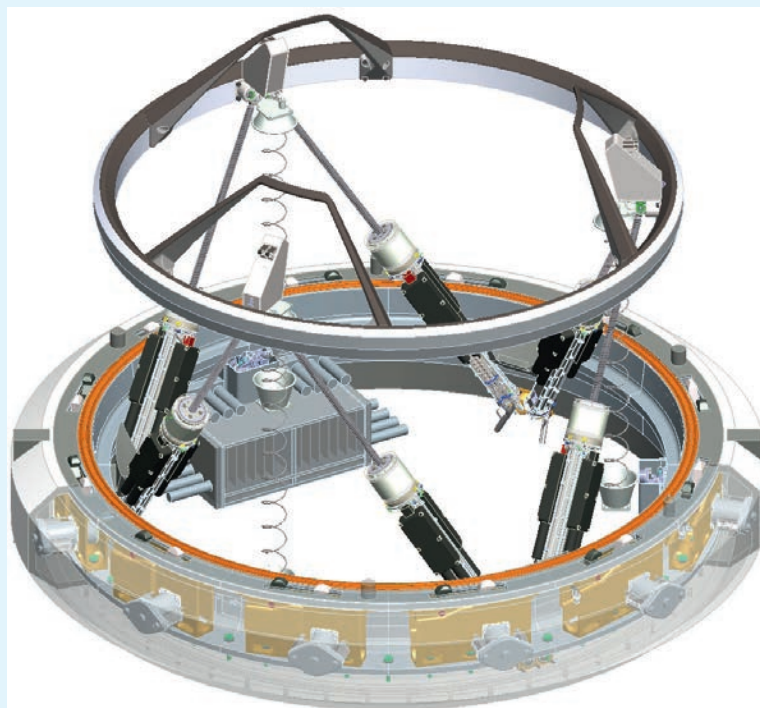
De Amerikaanse ruimtevaartorganisatie NASA kende in 2008 twee contracten op commerciële basis toe voor de bevoorrading van het ISS met onbemande ruimtetuigen. Het vrachtruimteschip *Dragon* van het bedrijf SpaceX maakte een eerste vlucht in 2010 en vliegt sinds 2012 naar het ISS. Het bedrijf Orbital ATK (voorheen Orbital Sciences) heeft het ruimtetuig *Cygnus* ontwikkeld. Dat vliegt sinds 2013 naar het internationaal ruimtestation.

Ook voor het transport van bemanningen naar het ISS zullen de Amerikanen vanaf volgend jaar beroep doen op de private sector met de door Boeing en SpaceX ontwikkelde ruimteschepen *CST-100 Starliner* en *Dragon V2 (Crew Dragon)*, een bemande variant van de onbemande ruimtecargo van SpaceX. Het bedrijf Sierra Nevada Corporation (SNC) was met zijn mini-shuttle *Dream Chaser* ook in de running voor commerciële bemande ruimtemissies naar het ISS, maar moest het afleggen tegen Boeing en SpaceX.

Begin 2016 verlengde de NASA de contracten voor de onbemande bevoorradingsmissies van het ISS tussen 2019 en 2024 met de Dragon- en Cygnuscargo's en voegde er deze keer wel het *Dream Chaser Cargo System* aan toe. (bron ESA)



De Dream Chaser zal net als de spaceshuttle op een landingsbaan kunnen terugkeren. © Sierra Nevada Corporation



Het International Berthing and Docking Mechanism (IBDM). © QinetiQ

Science Connection zou graag uw mening kennen om nog beter te kunnen inspelen op uw verwachtingen. Daarom vragen we even uw tijd om enkele vragen te beantwoorden.

www.scienceconnection.be/enquete

SCIENCE CONNECTION

is het gratis magazine van het Federaal Wetenschapsbeleid (Belspo)

Verantwoordelijke uitgever:

René Delcourt
Louizalaan 231
1050 Brussel

Coördinatie:

Patrick Ribouville
scienceconnection@belspo.be
www.scienceconnection.be

Werken mee aan dit nummer:

De auteurs van de bijdragen van het klimaatdossier kunnen gecontacteerd worden via Emmanuèle Bourgeois (Federaal Wetenschapsbeleid - emmanuele.bourgeois@belspo.be) die dit dossier coördineerde.

Voor de Interface Demography-VUB: Sylvie Gadeyne, Karen Van Aerden, Christophe Vanroelen en Didier Willaert.

Voor het Centre de Recherche en Démographie-UCL: Thierry Eggerickx, Catherine Gourbin, Paul Majérus, Bruno Masquelier, Jean-Paul Sanderson en Christophe Vandeschrick.

Laurence Burnotte (Federaal Wetenschapsbeleid), David Cox (Federaal Wetenschapsbeleid), Thierry De Putter (Koninklijk Museum voor Midden-Afrika), Ria D'Haemers (Federaal Wetenschapsbeleid), Jacques Lust (Federaal Wetenschapsbeleid), Nicolas Nikis (ULB/Koninklijk Museum voor Midden-Afrika) en Patrick Ribouville (Federaal Wetenschapsbeleid).

De auteurs zijn verantwoordelijk voor de inhoud van hun bijdragen.

Foto voorpagina Greta De Buel

Oplage:

13.000 exemplaren in het Nederlands en het Frans.

Abonnement:

www.scienceconnection.be

Science Connection staat in pdf-formaat op www.belspo.be

Fout in uw naam? Onvolledig adres? Verkeerde postcode? Meld het ons per e-mail of stuur het omslagetiket verbeterd terug.

Lay-out en druk:

Goekint Graphics
www.goekint.be

Gedrukt met plantaardige inkt op een papier geproduceerd met respect voor het milieu.

Het Federaal Wetenschapsbeleid (Belspo) heeft als opdracht het wetenschappelijk en cultureel potentieel van België maximaal te benutten ten behoeve van de beleidsmakers, de industrie en de burgers: 'een beleid voor en door de wetenschap'. Het reproduceren van uittreksels uit deze publicatie is toegestaan voor zover daar geen commerciële bedoelingen mee gepaard gaan en voor zover het past in de opdrachten van het Federaal Wetenschapsbeleid. De Belgische Staat kan niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die voortvloeit uit het gebruik van gegevens die in deze publicatie zijn opgenomen.

Het Federaal Wetenschapsbeleid noch enige andere persoon die in zijn naam optreedt is verantwoordelijk voor het gebruik dat zou kunnen worden gemaakt van de informatie in deze publicatie of voor eventuele fouten die er, ondanks de uiterste zorg bij de voorbereiding van de teksten, nog in zouden staan.

Het Federaal Wetenschapsbeleid heeft alle nodige moeite gedaan om te voldoen aan de wettelijke voorschriften inzake auteursrechten en om contact op te nemen met de rechthebbenden. Elke persoon die benadeeld meent te zijn en zijn rechten wil laten gelden wordt verzocht zich bekend te maken.



Meer informatie over het geïntegreerd managementsysteem Kwaliteit-Leefmilieu van het Federaal Wetenschapsbeleid op www.belspo.be

© Federaal Wetenschapsbeleid 2016.

Reproductie is toegelaten mits bronvermelding.

Mag niet worden verkocht.

Naast de Algemene directie 'Onderzoek en Ruimtevaart' en de Ondersteunende diensten omvat het Federaal Wetenschapsbeleid Federale wetenschappelijke instellingen en Staatsdiensten met afzonderlijk beheer.

Federale wetenschappelijke instellingen



Algemeen Rijksarchief en Rijksarchief
in de Provinciën
www.arch.be



Koninklijke Bibliotheek van België
www.kbr.be



Studie- en Documentatiecentrum Oorlog
en Hedendaagse Maatschappij
www.cegesoma.be



Koninklijk Belgisch Filmarchief
www.cinematek.be



Koninklijke Musea voor Schone
Kunsten van België
www.fine-arts-museum.be



Koninklijke Musea voor Kunst en
Geschiedenis
www.kmkg.be



Koninklijk Instituut voor het
Kunstpatrimonium
www.kikirpa.be



Koninklijk Belgisch Instituut voor
Natuurwetenschappen/Museum voor
Natuurwetenschappen
www.natuurwetenschappen.be



Koninklijk Museum voor Midden-Afrika
www.africamuseum.be



Koninklijke Sterrenwacht van België
www.astro.oma.be



Koninklijk Meteorologisch Instituut van
België
www.meteo.be



Belgisch Instituut voor Ruimte-
Aeronomie
www.aeronomie.be



Planetaarium van de Koninklijke
Sterrenwacht van België
www.planetarium.be

Partnerinstellingen



Von Karman Instituut
www.vki.ac.be



Universitaire Stichting
www.universitairestichting.be



Stichting Biermans-Lapôtre
www.fbl-paris.org



Academia Belgica
www.academiabelgica.it



Koninklijke Academie voor
Overzeese Wetenschappen
www.kaowarsom.be



Koninklijke Vlaamse
Academie van België voor
Wetenschappen en Kunsten
www.kvab.be



museum
NATURALSCIENCES.BE

EXPO

15.10.15 > 28.08.16



WONDERS OF WILDLIFE