

2 WAT ZIJN DE OORZAKEN EN GEVOLGEN VAN KLIMAATVERANDERING?

Het klimaat van de aarde is in de loop van de geschiedenis vaak veranderd. Mede daardoor zijn soorten geëvolueerd of uitgestorven en zijn nieuwe soorten ontstaan. Op dit moment staat het klimaat in de belangstelling; vele van de laatste vijftien zomers behoorden tot de warmste van de laatste tweehonderd jaar. Deze opwarming kan, door de lokale weersveranderingen (natter of juist droger, meer extremen) die dat met zich meebrengt, grote gevolgen hebben voor de duurzaamheid van samenlevingen en het functioneren van ecosystemen. Nauwkeuriger voorspellingen over (het tempo van) klimaatsverandering en de gevolgen voor het leven op aarde zijn daarom van groot belang.

Hoe kunnen we klimaatsverandering beter voorspellen?

Bij het opstellen van wetenschappelijk gefundeerde korte- en langetermijnscenario's van klimaatverandering blijkt keer op keer dat we onvoldoende weten over de onderliggende fysische, chemische en biologische processen. Belangrijke voorbeelden zijn: het indirecte aerosoleffect (de invloed van stofdeeltjes in de lucht op de eigenschappen van wolken), het effect van wolken op zonnestraling, de dynamica van ijskappen, het vrijkomen van methaangas, de mengprocessen in de oceanen, verschuivingen van de CO₂-chemie van zeewater, de watercyclus en de koolstofcyclus.

Het invullen van deze kennislacunes zal leiden tot modellen die het klimaat betrouwbaarder voorspellen, voor de komende vijftientig jaar maar ook voor ver daarna (tot zelfs na 2100).

In de loop van de jaren zijn veel typen metingen aan het klimaat verricht, op aarde zelf maar ook vanuit de ruimte. Er is daarnaast een groeiend archief met 'proxy data' van afgeleide klimaatindicatoren, zoals metingen aan poolijskernen. Rekenmodellen beschrijven klimaatprocessen steeds gedetailleerder, en de capaciteit van supercomputers groeit nog steeds. De behoefte aan integratie van alle informatie is groot.

Welke collectieve effecten hebben de diverse terugkoppelingen in het klimaatsysteem? Kunnen we de gecombineerde onzekerheden in klimaatverandering tot 2200 kwantificeren? Het komende decennium wachten ons baanbrekende antwoorden op zulke vragen dankzij combinaties van klimaatonderzoek met terreinen als paleoklimatologie, toegepaste wiskunde, stromingsleer en 'scientific computing'.

Hoe warm kan de broeikas aarde worden?

Validatie van klimaatmodellen aan historische gegevens is cruciaal om te komen tot betere voorspellingen. Goed gedateerde, gedetailleerde klimaatreconstructies gerelateerd aan veranderingen in de koolstofcyclus zijn essentieel om klimaatverandering beter te begrijpen. Het geologisch verleden van de aarde (Pleistoceen, Tertiair en Krijt) biedt daartoe de mogelijkheid door temperaturen voorspeld door klimaatmodellen te vergelijken met temperaturen zoals die met zogenaamde 'proxy's' gereconstrueerd kunnen worden. Deze proxy's zijn indirecte gegevens, die nu vooral uit boorkernen in poolijs en diepzeesedimenten worden verkregen. Er is dringend behoefte aan nieuwe proxy's (bijvoorbeeld op basis van continentale sedimenten) en verbetering van de bestaande om temperatuur en kooldioxidegehalte nog beter en verder terug te reconstrueren. Hierbij bestaat met name grote behoefte aan extra gegevens over eerdere 'broeikas'-perioden in de aardse geschiedenis.

Biologische effecten: de koolstofcyclus

De omloopsnelheid van kooldioxide in de atmosfeer is hoog. In circa zes jaar wordt alle kooldioxide in de atmosfeer opgenomen en opgeslagen door aardse planten, om later door ademhaling weer vrij te komen. Deze koolstofcyclus is gekoppeld aan de watercyclus: waar kooldioxide door de huidmondjes naar binnen gaat, verdamppt water langs dezelfde route naar buiten.

Over de wisselwerking tussen de cycli, van bladcel tot en met ecosystemen, is nog onvoldoende bekend. Hoe beïnvloedt kooldioxide in de lucht, zowel biochemisch als biofysisch, de groei van bladeren, de aanleg van huidmondjes en hoeveel ze openstaan? Hoe beïnvloedt een stijgend kooldioxide-gehalte in de atmosfeer de water- en warmtehuishouding van het gehele bladerdek en de groei en productie van hout in verschillende ecosystemen?

Ecologische en evolutionaire gevolgen van klimaatverandering

Onderzoek naar ecologische gevolgen van klimaatverandering draait om drie grote vragen: hoe passen soorten hun areaal aan wanneer klimaatzones verschuiven? Hoe kunnen soorten zich functioneel en evolutionair aanpassen aan de veranderingen in hun milieu? Welke gevolgen heeft klimaatsverandering voor biodiversiteit en het functioneren van ecosystemen?

In ecosystemen werken soorten op elkaar in door middel van predator-prooi-interacties, competitie, facilitatie en symbiose. Klimaatverandering werkt echter niet voor alle soorten identiek uit. Soorten die zich snel verspreiden of snel evolueren zullen bijvoorbeeld beter in staat zijn hun areaal te verplaatsen of zich aan nieuwe omstandigheden aan te passen.

Klimaatverandering leidt dus tot nieuwe interacties tussen soorten. Binnen een ecosysteem sterven sommige soorten uit terwijl andere van elders binnendringen. Er is behoefte aan meer kennis over hoe deze processen verlopen, en over beschermingsmaatregelen die soorten mogelijk kunnen helpen zich tijdig aan te passen aan veranderende klimaatomstandigheden.

Om toekomstige ontwikkelingen te kunnen voorspellen zal het van groot belang zijn om ecologisch en evolutionair onderzoek op individu- en gemeenschapsniveau te



koppelen aan onderzoek op procesniveau. Zulk onderzoek kan gebruikmaken van kennis over hoe soorten nu reageren op klimaatsverandering en hoe ze dat in het verleden deden. Fylogenetische kennis, over de achtergronden van soortontwikkeling, zal belangrijk zijn om de uitkomsten bij individuele soorten meer algemeen toepasbaar te maken.

