

AGENDA 2020
VISIE OP HET AARDWETENSCHAPPELIJKE
WETENSCHAPSVELD



2011 Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen (KNAW)

© Sommige rechten zijn voorbehouden / Some rights reserved

Voor deze uitgave zijn gebruiksrechten van toepassing zoals vastgelegd in de Creative Commons licentie. [Naamsvermelding 3.0 Nederland]. Voor de volledige tekst van deze licentie zie <http://www.creativecommons.org/licenses/by/3.0/nl/>

Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen

Postbus 19121, 1000 GC Amsterdam

Telefoon + 31 20 551 0700

Fax + 31 20 620 4941

knaw@bureau.knaw.nl

www.knaw.nl

pdf beschikbaar op www.knaw.nl

Basisvormgeving: edenspiekermann, Amsterdam

Foto cover: vrijwel wolkenvrij Europa, 10 augustus 2003. Foto door Meteosat Second Generation satellite MSG-1

ISBN 978-90-6984-624-8



AGENDA 2020

VISIE OP HET AARDWETENSCHAPPELIJKE
WETENSCHAPSVELD

Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen
2011

TEN GELEIDE

Het is voor mij een genoegen om u het voorliggende rapport onder de aandacht te brengen. Een rapport waarin de studie van onze fysieke aarde – waarvan wij allen voor ons overleven van afhankelijk zijn – centraal staat.

Het biedt een visie op de wegen die we in Nederland de komende periode zouden moeten bewandelen op het terrein van de aardwetenschappen en is voorbereid door een breed samengestelde werkgroep onder auspiciën van de Raad voor Aard- en Levenswetenschappen (RAL-KNAW).

Zoals in de visie ook als slotaanbeveling is aangegeven, zou het goed zijn als deze visie zou worden gevolgd door een concreet uitvoeringsplan in samenwerking met de diverse stakeholders.

Robbert Dijkgraaf
President KNAW

VOORWOORD

De 21ste eeuw wordt een eeuw met maatschappelijk diep ingrijpende veranderingen. Vrijwel elke dag berichten de media over aardwetenschappelijke thema's die direct verband houden met socio-economische aspecten, zoals water, energie, grondstoffen, landgebruik, voedselzekerheid, ecologie en natuur. Vaak is de onderliggende grondtoon die van (dreigende) schaarste en het dwingend vinden van alternatieven en duurzame oplossingen. Regelmatig wordt onze aandacht gevraagd bij optredend natuurgeweld. De kwetsbaarheid van onze samenleving wordt blootgelegd bij gebeurtenissen zoals aardbevingen, tsunami's, orkanen en vulkaanuitbarstingen. In voorjaar 2010 werd dit overduidelijk toen een aswolk van een actieve vulkaan op IJsland praktisch het gehele vliegverkeer in Europa lam legde. Het verlies aan mensenlevens als gevolg van het natuurgeweld en de verwoestingen door aardbevingen en tsunami's in Indonesië (december 2004) en Japan (maart 2011) staan diep in ons geheugen gegrift. Een belangrijke ontwikkeling is het groeiende besef dat de mensheid een significante actieve actor is geworden en het natuurlijke systeem van de planeet Aarde verstoort. Wat precies die rol is, staat niet vast. Door het natuurlijke systeem in samenhang beter te onderzoeken en te monitoren, wordt het inzicht groter. Aardwetenschappers kunnen dan meer betrouwbare antwoorden geven op en met duurzame oplossingen komen voor huidige en toekomstige maatschappelijke vragen.

Om diverse redenen is het van belang om de Aardwetenschappen in Nederland zeer serieus te nemen. Op de eerste plaats omdat de Aarde, met zijn wisselwerking tussen de verschillende 'sferen', inclusief de 'antroposfeer', een fascinerend systeem is, dat ook toekomstige generaties onderzoekers uitdaagt om te komen tot meer inzicht in en een beter begrip van de processen en de interacties daartussen.

Dat inzicht is ook nodig om de uitwerking en operationalisering van het begrip 'duurzame ontwikkeling'. We worden geconfronteerd met ontwikkelingen in de sociale

omgeving zoals de doorgaande bevolkingsgroei en de groei van de welvaart in opkomende economieën. Tegelijkertijd hebben we te maken met veranderingen in de fysieke omgeving. Voor een deel zijn die van alle tijden, zoals aardbevingen, vulkanen en orkanen. Voor een deel zijn die het gevolg van menselijk handelen, zoals veranderend landgebruik en de toegenomen uitstoot van broeikasgassen.

Bij het in kaart brengen van die effecten en de gevolgen ervan voor het Systeem Aarde spelen de Nederlandse Aardwetenschappen een belangrijke rol. Niet alleen scoren ze internationaal zeer hoog als het gaat om aantal en kwaliteit van publicaties en de kwaliteit van de opleidingen. Dankzij de interactie met overheden en bedrijfsleven, publiekprivaat partnerships, – via formele en informele netwerken en via afgestudeerden – leiden de verworven kennis en inzichten ook tot vele nieuwe producten en diensten.

In het voorliggende rapport - dat is voorbereid door een breed samengestelde werkgroep onder auspiciën van de Raad voor Aard- en Levenswetenschappen (RAL) van de KNAW - is een aantal ambities geformuleerd voor de Nederlandse Aardwetenschappen in 2020.

Diverse partijen worden in deze 'Agenda 2020' aangesproken om hieraan een vervolg te geven en ik hoop van harte dat deze zullen bijdragen aan de vervulling van deze ambities.

Rudy Rabbinge
Voorzitter RAL-KNAW

INHOUD

SAMENVATTING 11

SUMMARY 15

1. INLEIDING 19

2. OMGEVINGSANALYSE 23

3. ONDERZOEKSTHEMA'S 29

4. AARDWETENSCHAPPEN IN NEDERLAND 37

5. AANDACHTSPUNTEN, AANBEVELINGEN EN MIDDELEN 45

BIJLAGEN

1. Samenstelling van de werkgroep 51

2. Deelnemers Expert Meetings 52

3. Financiële omzet niet-universitaire instellingen 55

4. Lijst van gebruikte afkortingen 56

SAMENVATTING

De Nederlandse Aardwetenschappen behoren anno 2010 tot de mondiale Top Vijf (zie het recente rapport *Research Review Earth Sciences van de Quality Assurance Netherlands Universities (QANU)*, 2009). In de jaren tachtig en negentig is in Nederland een compacte, goed gefocusseerde en samenwerkende aardwetenschappelijke kennisinfrastructuur van internationale allure gevormd (met nationale onderzoekscholen, een interuniversitaire toponderzoekschool en een aantal niet-universitaire kennisinstellingen, die nauw gelieerd zijn aan de universitaire centra).

Het onderzoek- en onderwijsdomein van de Aardwetenschappen is het Systeem Aarde. Het Systeem Aarde staat als gevolg van menselijke invloeden onder toenemende druk, waardoor het steeds moeilijker wordt een duurzame samenleving te realiseren en voor toekomstige generaties te borgen. Klimaatverandering, schaarste aan grondstoffen, omschakeling van het gebruik van fossiele brandstoffen naar duurzame energiebronnen, duurzaam bodem- en waterbeheer en voedselproductie zijn uitdagingen die alleen met bestaande, maar vooral ook nieuwe aardwetenschappelijke kennis kunnen worden opgelost.

De Nederlandse Aardwetenschappen worden het komende decennium met drie typen uitdagingen geconfronteerd:

- de uitstroom van een verhoudingsgewijs zeer groot deel van de wetenschappelijke staf als gevolg van pensionering. Door financiële problemen bij universiteiten en kennisinstellingen is er een risico dat dit leidt tot personele krimp, terwijl – internationaal gezien – de aardwetenschappelijke capaciteit fors groeit;
- aardwetenschappelijk onderzoek kan alleen op mondiaal niveau worden gerealiseerd met *state of the art* – en veelal kostbare – onderzoeksfaciliteiten waarvan het maar de vraag is of die beschikbaar komen; en

- om de huidige toestand en de veranderingen in de toekomst te kunnen vastleggen en duiden en betere risicoschattingen te maken, zijn ononderbroken en consistente waarnemingen van hoge kwaliteit van essentieel belang. Juist deze waarnemingen en de daaraan verbonden onderzoeken verkeren op dit moment in problemen, vanwege onvoldoende structurele ondersteuning op lange termijn.

Oplossing en aanpak

Het realiseren en borgen van een duurzame samenleving voor toekomstige generaties vereist meer data en kennis van het Systeem Aarde, specifiek ook van de menselijke invloed daarop. De aardwetenschappelijke bijdrage aan een duurzame samenleving kan worden gevat in een aantal thema's:

- oplossingen voor schaarste aan grondstoffen en ruimte (*Thema Schaarste*), met speciale aandacht voor energietransitie in het *Thema Duurzame Energievoorziening*;
- kennis over de invloed van positieve en negatieve terugkoppelingen en de effecten van klimaatverandering op mens, natuur en ecosysteemdiensten dient te worden versterkt om klimaatvraagstukken aan te pakken;
- water- en bodemproblematiek heeft de speciale aandacht, in verband met de verwachte druk op laaggelegen kust- en deltagebieden in het algemeen en de ligging en expertise van Nederland in het bijzonder (*Thema Klimaat en Water*); en
- veiligheid is in onze samenleving een steeds belangrijker element; de veiligheidsaspecten die samenhangen met bovengenoemde trends en de risico's die hun oorsprong vinden in processen of condities in het Systeem Aarde, worden aangepakt in het *Thema Natuurrampen*.

Daarnaast leiden de universiteiten experts op die met kennis van het Systeem Aarde aan de slag gaan bij bedrijven, kennisinstellingen en overheden. De vaardigheden van nieuw opgeleide aardwetenschappers, zoals het bovengemiddeld goed kunnen denken in tijd- en ruimteschalen en het generaliseren en modelleren op systeemniveau – van nano tot en met de planeet Aarde –, zijn bij uitstek geschikt om in de maatschappij een bijdrage te leveren aan de ontwikkeling van een duurzame samenleving. De huidige en toekomstige vraagstukken en uitdagingen waar de mondiale maatschappij voor staat vereisen aardwetenschappers die voorbereid zijn om oplossingen aan te (kunnen) dragen.

De publieke, private en overheidspartijen zullen (in partnerships) moeten blijven investeren in Aardwetenschappen met het doel:

- het wetenschappelijk onderwijs en onderzoek in dit vakgebied zowel aan de universiteiten als aan de kennis-/onderzoekinstellingen te borgen en wezenlijk te versterken, door opleidingen samen gestalte te geven en hoogwaardige en kostbare infrastructuur met elkaar te delen;

- de samenwerking tussen universiteiten onderling alsmede met kennis- onderzoeksinstellingen te consolideren en te intensiveren, door het realiseren van onderlinge afstemming en toegankelijkheid; en
- de samenwerking tussen het onderzoeks- en onderwijsveld met het bedrijfsleven uit te breiden en te borgen voor de lange termijn, door sterke publiekprivaat **partnerships** te vormen.

Hiermee wordt het mogelijk te voldoen aan de snel groeiende vraag van de maatschappij naar aardwetenschappelijke data, informatie en kennis en naar meer en optimaal opgeleide aardwetenschappers, die voorbereid zijn op de wetenschappelijke en maatschappelijke vragen. Niet alleen die van vandaag, maar ook die van 2020 en daarna. De forse uitstroom van hoogleraren en docenten gedurende het komende decennium biedt kansen om de diversiteit van het personeelsbestand van de universiteiten te bevorderen, met name wat het tot dusverre zeer beperkte aantal vrouwelijke hoogleraren en docenten betreft.

De aardwetenschappelijke kennisinfrastructuur in Nederland heeft bewezen in staat te zijn expertise en krachten te bundelen. Dat heeft geresulteerd in een internationale excellente positie van Aardwetenschappen (zie onder andere pagina 99, Tabel 5.4 over *Aardwetenschappen en technologie* in het rapport *Wetenschaps- en Technologie-indicatoren 2010* van het Nederlands Observatorium van Wetenschap en Technologie (NOWT), waar het gebied Aardwetenschappen en technologie geassocieerd is als behorende tot de topklasse van Nederland: aantoonbaar excellent onderzoek met relatief bescheiden middelen. Zie tevens het rapport *Research Review Earth Sciences* van de QANU, 2010). De Nederlandse Aardwetenschappen behoren momenteel tot de mondiale Top Vijf en dienen op dat niveau te blijven.

- De Nederlandse Aardwetenschappen weten zich te organiseren, zijn in staat de krachten te bundelen en vermijden fragmentatie, overlap en verdubbelingen.
- De nauwe samenwerking tussen universitaire instellingen, diverse landelijke kennis-/onderzoekinstellingen met Aardwetenschappen (en tevens Levenswetenschappen) en nauwe betrekkingen en samenwerkingsverbanden met het Nederlandse en internationale bedrijfsleven verhoogt de kwaliteit van onderwijs en onderzoek, versterkt integratie, verdieping en verbreding en intensificeert afstemming met maatschappelijke vragen.
- De toename in studentenaantallen bewijst dat de Nederlandse Aardwetenschappen erin slagen de interesse voor het fascinerende vakgebied te vergroten.

Noodzakelijke investeringen

Aardwetenschappen kunnen oplossingen bieden voor grote maatschappelijke problemen en innovatieve wetenschappelijke vraagstellingen; een systeemaanpak staat hierbij voorop. De *Agenda 2020* beoogt een verdere bevordering van focus en massa, mede rond belangrijke maatschappelijke thema's.

Om de gestelde doelen te kunnen verwezenlijken zijn structurele en incidentele investeringen nodig. Tevens zijn een substantiële en structurele ondersteuning voor de Nederlandse inbreng in de Europese onderzoekinfrastructuur en een versterkt onderzoek- en waarneemprogramma gericht op fundamentele kennis van het Systeem Aarde (waaronder klimaat) nodig. Het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (OCW) wordt verzocht de middelen voor de eerste (via de universiteiten met aardwetenschappelijk onderwijs en onderzoek) en tweede geldstroom (via het gebied Aard- en Levenswetenschappen (ALW) van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) voor Aardwetenschappen structureel substantieel te verhogen en in de periode 2011 tot 2015 eenmalig een bedrag toe te kennen van circa M€ 20 voor 'grote faciliteiten'.

Agenda 2020: Visie op het aardwetenschappelijke wetenschapsveld is opgesteld door vertegenwoordigers uit alle sectoren van de Nederlandse Aardwetenschappen: universiteiten, kennis-/onderzoekinstellingen, het bedrijfsleven en (semi-)overheidsinstellingen. Een werkgroep van de RAL van de KNAW heeft het betrokken veld in september 2009 geïnformeerd en uitgenodigd deel te nemen aan een viertal workshops. De uitkomst van deze workshops is in een discussiebijeenkomst op 11 december 2009 met de deelnemers en overige geïnteresseerden besproken, waarna de werkgroep de hiermee breed gedragen *Agenda 2020* heeft opgesteld.

SUMMARY

Dutch research in the earth sciences has recently been ranked among the best in the world (see the recent report QANU *Research Review Earth Sciences* by Quality Assurance Netherlands Universities, 2009). In the eighties and nineties, the earth sciences in the Netherlands developed a compact, focused, and collaborative knowledge infrastructure with an excellent international reputation (consisting of national research schools, a university-based top research school, and a number of non-university research institutions closely allied to university centres).

Research and teaching in the earth sciences concentrate on ‘System Earth’. Human activity is putting System Earth under growing pressure, making it increasingly difficult to achieve a sustainable society now and maintain it for future generations. Climate change, dwindling raw materials, the transition from fossil fuels to renewable sources of energy, sustainable soil and water management, and sustainable food production are among the challenges that must be tackled not only with existing knowledge but also – and in particular – with new insights gleaned from earth science research.

Dutch researchers in the earth sciences will face three types of challenge in the decade ahead:

- the retirement of a very large proportion of academic staff. With the universities and research institutions facing financial difficulties, there is a danger that the retirees will not be replaced, leading to shrinking staff numbers precisely at a time when capacity in the earth sciences is growing rapidly in other countries;
- earth science research can only be conducted at a global level using *state-of-the-art* – and often expensive – research facilities whose future availability is highly uncertain;

- in order to document the present condition of System Earth and changes that occur in future and ensure that more accurate risk estimates can be made, researchers must have access to uninterrupted, consistent, top-quality observations. It is precisely such observations and the related studies that are now in trouble, however, owing to inadequate long-term funding.

Solution and approach

Achieving and securing a sustainable society for future generations requires more data on and a better understanding of System Earth and how it is impacted by human activity. The contribution that the earth sciences make to achieving a sustainable society can be summarised in a number of research themes:

- solving the scarcity of raw materials and space (theme: *Scarcity*), with particular attention going to energy transition within the theme *Sustainable Energy Supply*;
- we must learn more about the influence of positive and negative feedback loops and the impact of climate change on human life, the natural world, and ecosystems in order to tackle climate-change issues;
- water and soil problems are of particular concern owing to the anticipated pressure on low-lying coastal and delta regions in general and the situation and expertise of the Netherlands in particular (theme: *Climate and Water*);
- safety is an increasingly important dimension in our society; the safety issues related to the aforementioned trends, and the risks inherent in the processes or conditions of System Earth will be dealt with within the theme *Natural Disasters*.

The universities also train experts who use their knowledge of System Earth in their work for enterprises, research organisations and government. The skills of newly trained earth scientists – for example, their above-average ability to think in terms of time and space scales and to generalise and model systems, from nanos to Planet Earth – are supremely suited to contributing to the development of a sustainable society. The issues and challenges that society faces worldwide, both today and tomorrow, will require scientists who have been trained to propose solutions and who are capable of doing so.

Public, private and government parties must continue (through partnerships) to invest in the earth sciences in order to:

- secure and reinforce teaching and research in this discipline both at universities and at expertise centres/research institutions by developing joint programmes and by sharing the necessary sophisticated and costly infrastructure;
- consolidate and intensify cooperation between universities and between universities and expertise/research institutions by means of mutual coordination and accessibility;

- extend and guarantee long-term cooperation between education and research on the one hand and enterprise on the other by establishing strong public-private partnerships.

This makes it possible to respond to society's rapidly growing demand for earth-science research data, for information and expertise, and for more and better trained earth scientists who are prepared to tackle scientific and societal issues – and not only those that we are facing today, but also the ones that we will face in 2020 and thereafter. The mass retirement of professors and instructors in the decade ahead will also make it possible to promote staff diversity at universities, in particular in view of the very small number of female professors and instructors thus far.

The earth science knowledge infrastructure in the Netherlands has shown itself capable of uniting and concentrating its expertise. Those abilities have boosted the earth sciences in the Netherlands to an outstanding position in the international rankings (see p. 99, Table 5.4, “Aardwetenschappen en technologie” in *Wetenschaps- en Technologie-indicatoren 2010* by the Netherlands Observatory for Science and Technology, where “earth sciences and technology” is categorised as a top-ranking discipline in the Netherlands, with demonstrably excellent research using relatively modest means. See also *Research Review Earth Sciences* by QANU, 2009). Dutch research in the earth sciences is among the best in the world and should remain so.

- Dutch earth scientists are capable of organising and joining forces, and of avoiding fragmentation, overlaps and duplication.
- Close cooperation between universities and various national expertise or research institutions that specialise in the earth sciences (and life sciences), and close relationships and partnerships with Dutch and international enterprises improve the quality of teaching and research, encourage integration as well as horizontal and vertical expansion, and allow for a more concentrated interplay between the earth sciences and societal issues.
- The increase in student numbers shows that the earth sciences have succeeded in interesting young Dutch people in this fascinating discipline.

Necessary investment

The earth sciences can offer solutions to major societal problems and innovative research issues. The emphasis is on a system-wide approach. *Agenda 2020* aims to promote focus and mass, specifically with respect to key societal issues.

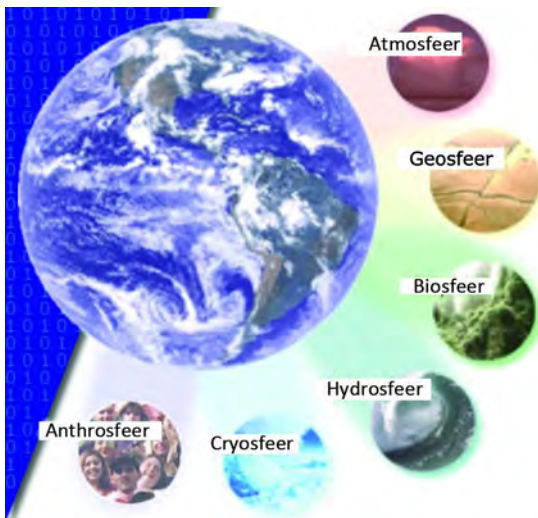
Attaining the targets that have been set will require both long-term and non-recurring investment. What is also needed is substantial and long-term support for Dutch input into the European research infrastructure, as well as a stronger research and observation programme focusing on a fundamental knowledge of System Earth (including the climate). The Ministry of Education, Culture and Science is asked to increase by a substantial amount the long-term funding allocated to the earth sciences

via both the direct funding mechanism (funding allocated directly to universities that offer programmes and conduct research in the earth sciences) and the indirect funding mechanism (funding dispersed via the Earth and Life Sciences Division of the Netherlands Organisation for Scientific Research, NWO), and to reserve a one-off sum of approximately EUR 20 million for “large-scale facilities” in the 2011-2015 period.

- *Agenda 2020: Perspective on the earth sciences* was drawn up by representatives from all the various sectors of the Dutch earth sciences community: universities, expertise and research institutions, trade and industry, and government/semi-government institutions. The Academy’s Council for Earth and Life Sciences (RAL) set up a working group that informed the relevant parties in September 2009 and invited them to take part in four workshops. The results of the workshops were discussed with the participants and other stakeholders during a meeting on 11 December 2009. The consensus reached during this meeting provided the basis for the working group’s subsequent report, *Agenda 2020*.

1. INLEIDING

De Aarde is een fascinerend en complex systeem, waar we niet alleen 'op' leven, maar ook 'van' leven. Het systeem met zijn verschillende sferen en onschatbare natuurlijke bestaansbronnen, levert ons voedsel, water, grondstoffen en energie, maar ook de schoonheid van de woeste natuur en het verstilde landschap. De Aarde vormt daarmee in meer dan één opzicht het fundament onder ons bestaan.



Afbeelding 1. De sferen binnen het Systeem Aarde. (Earth Research Institute, University of Santa Barbara, USA)

Delen van het Systeem Aarde die van essentieel belang zijn voor ons voortbestaan, staan onder druk. De groeiende wereldbevolking legt met zijn groeiende welvaart een toenemend beslag op de ruimte en natuurlijke bestaansbronnen, inclusief hernieuwbare bronnen. Tegelijkertijd is sprake van verspilling en ander onzorgvuldig gebruik, waardoor lucht, water en bodem vervuilen. De stijging van het CO₂-gehalte en andere broeikasgassen in de atmosfeer en de effecten daarvan op het klimaat, laten zien dat die vervuiling niet alleen lokale maar ook wereldwijde gevolgen heeft.

Sinds 1987 streven we naar duurzame ontwikkeling. Dat wil zeggen, dat we bij maatschappelijke keuzes rekening houden met de belangen van toekomstige generaties. Nationaal en internationaal worden er afspraken gemaakt om bijvoorbeeld CO₂-emissies terug te dringen of het aandeel alternatieve herwinbare energiebronnen in de energiemix te verhogen. Impliciet erkennen we daarmee de noodzaak om onze voetafdruk beperkt te houden tot één Aarde. Ernaar leven is een ander verhaal. Duurzame ontwikkeling (*people, planet, profit*) dwingt ons om met andere ogen te kijken naar het Systeem Aarde en onze rol daarin.

Onze huidige kennis van de dynamische Aarde schiet vooralsnog tekort om die uitdaging aan te gaan. Voor het maken van strategische keuzes voor duurzame ontwikkelingen zijn robuuste scenario's nodig, die gebaseerd zijn op specifieke aardwetenschappelijke kennis en simulaties van het Systeem Aarde. Een systeem, dat niet alleen onderhevig is aan autonome veranderingen, maar ook wordt beïnvloed door menselijke activiteiten. Voor het maken van zulke simulaties op allerlei terreinen – van de ontwikkeling van ecosystemen tot het schatten van fossiele reserves en het ontstaan van aardbevingen – zijn gegevens en een verbeterd inzicht in aardwetenschappelijke processen nodig. En theorieën om die gegevens te interpreteren.

Nederland is bijzonder goed geëquipeerd om aan die maatschappelijke en wetenschappelijke uitdaging het hoofd te bieden. Het gebied Aardwetenschappen en technologie is goed georganiseerd en geldt internationaal als excellent. Tegelijkertijd is er via universiteiten en andere kennisinstellingen en advies- en ingenieursbureaus een goede infrastructuur aanwezig voor overdracht en valorisatie van aardwetenschappelijke kennis naar bedrijfsleven, overheid, onderwijs en maatschappelijke organisaties.

Als gevolg van te verwachten bezuinigingen in de vorm van lastenverzwaring, die op dit moment nog moeilijk kunnen worden ingeschat, maar de verwachting is dat percentages kunnen oplopen tot wel 20%, staan de Nederlandse Aardwetenschappen en technologie onder druk. In het licht van de uitdagingen waar we voor staan is dat een slechte zaak. Vertegenwoordigers van universiteiten, kennisinstellingen, bedrijfsleven en (semi-)overheidsinstellingen (zie bijlage 1) hebben daarom het initiatief genomen voor het opstellen van de *Agenda 2020: Visie op het aardwetenschappelijke wetenschapsveld*.

In het najaar van 2009 heeft deze werkgroep van de RAL van de KNAW het veld geïnformeerd. Vervolgens zijn er in september vier workshops gehouden (zie bijlage 2), waarvan de uitkomsten zijn besproken tijdens een discussiebijeenkomst op 11 december 2009. In 2010 is een en ander uitgewerkt door de werkgroep en teruggekop-

peld naar de RAL. Het resultaat is de *Agenda 2020: Visie op het aardwetenschappelijke wetenschapsveld* die nu voor u ligt.

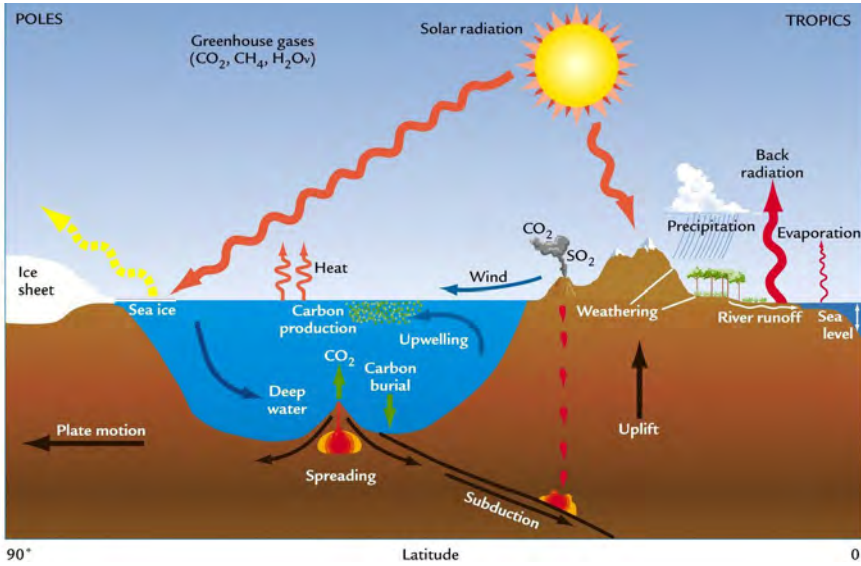
2. OMGEVINGSANALYSE

Het komende decennium worden we als samenleving geconfronteerd met een aantal fundamentele veranderingen op wereldwijde schaal. Bij het opstellen van een *Agenda 2020: Visie op het aardwetenschappelijke wetenschapsveld* kunnen we dan ook niet zonder meer uitgaan van de situatie van vandaag. Daarom is een omgevingsanalyse gemaakt, waarin een aantal belangrijke trends die nu al zichtbaar zijn, wordt doorgetrokken naar de toekomst.

Systeem Aarde

De planeet Aarde bestaat ruim 4,5 miljard jaar. Mede als gevolg van de ontwikkeling van leven (circa 3,5 miljard jaar geleden) heeft de Aarde zich ontwikkeld tot een complex systeem met een voortdurende wisselwerking tussen de verschillende 'sferen' (geo-, hydro-, atmo-, cryo- en biosfeer). Binnen de biosfeer kunnen we bovendien de 'antroposfeer' onderscheiden: de menselijke samenleving met zijn snelle groei en bijbehorende intensivering van het gebruik van ruimte en natuurlijke bestaansbronnen.

Op mondiale schaal verkeert het Systeem Aarde in een toestand van dynamisch evenwicht. Onderdelen van het systeem veranderen voortdurend (en wel op zeer wisselende tijd- en ruimteschalen), terwijl het geheel blijft werken alsof het vrijwel in evenwicht is. Een van de grote uitdagingen voor de komende tien jaar is het maken van accurate voorspellingen van de gevolgen van menselijk handelen op de - op menselijke tijdschalen - evenwichtstoestand van het Systeem Aarde.



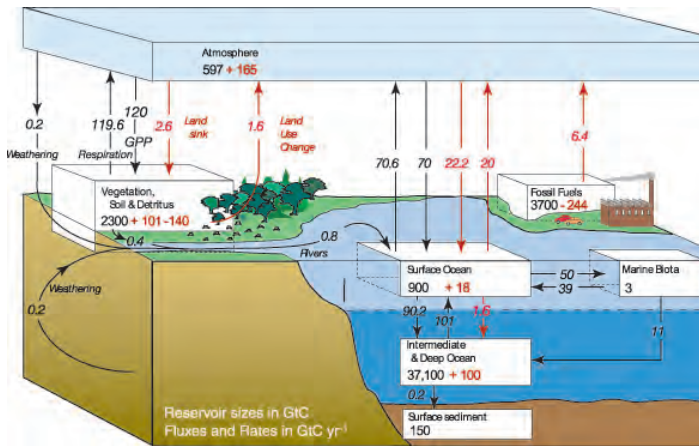
Afbeelding 2. Verbanden tussen het klimaatsysteem op Aarde en het Systeem Aarde, waarbij de nadruk ligt op de interacties tussen de verschillende compartimenten en de variëteit aan natuurlijke processen. (Ruddiman, W.F., 2001. *Earth's Climate Past and Future*. W.H. Freeman and Company, New York, USA)

Een van de belangrijkste discussies van het moment betreft de snelle toename van het CO₂-gehalte van de atmosfeer en de mogelijke effecten daarvan op het Systeem Aarde. Veel van die effecten zijn nog onvoldoende in kaart gebracht. Daarbij gaat het om het ontbreken van kwantitatieve gegevens over voorraden, fluxen en snelheden.

Een van de cruciale vragen is in hoeverre de oceanen extra CO₂ kunnen opnemen. Bijkomende vragen zijn hoe organismen zullen reageren op de opwarming en verzuring van die oceanen. Kunnen de oceaانبodems zuurstofloos worden en op welke manier beïnvloedt dit kringlopen van nutriënten in de oceaan en de opslag van koolstof in sedimenten?

Niet alleen oceanen spelen een cruciale rol in de koolstofkringloop, maar ook de vegetatie op land. Nemen bossen en bodems meer CO₂ op als het gehalte in de atmosfeer stijgt? En wat heeft dat bijvoorbeeld voor effect op de regionale waterhuishouding? Een andere vraag is of je door aangepaste vormen van landbouw de opname van koolstof door gewassen (en bodemleven) kunt vergroten.

Een deel van het antwoord op die vragen ligt in het verleden. Hoe reageerde het Systeem Aarde tijdens perioden in het geologische verleden waarin de CO₂-concentratie in de atmosfeer door natuurlijke oorzaak sterk steeg? Gesteenten zijn het aardse geschiedenisboek waarin de veranderingen, die het aardse systeem op natuurlijke wijze heeft ondergaan, zijn opgeslagen. Bestuderen van dit geschiedenisboek in combinatie met het monitoren van actieve processen maakt het mogelijk om de veranderingen binnen de verschillende sferen en tussen de sferen onderling te kwantificeren.



Afbeelding 3. Voorbeeld van voorraden, fluxen en snelheden van uitwisselingen van koolstof in de koolstofkringloop. (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, IPCC Report, 2007)

Sociale omgeving

De zogeheten BRIC-landen (Brazilië, Rusland, India en China) en anderen, zoals Zuid-Afrika en Zuid-Korea, zijn sterk in opkomst. Als gevolg wordt de huidige geopolitieke dominantie van Europa en de Verenigde Staten meer en meer gedeeld met de opkomende economieën. Redenen hiervan zijn onder meer demografische factoren: de meeste opkomende economieën hebben te maken met een snel groeiende (beroeps-) bevolking, waardoor hun groeipotentieel wordt versterkt. In het Westen, met name in Europa, hebben we te maken met vergrijzing en een krimpende beroepsbevolking. De resultante van deze ontwikkeling is snelle wereldwijde economische groei. In combinatie met de groei van de wereldbevolking leidt dat tot meer druk op ruimte en natuurlijke bestaansbronnen en tot meer milieuvervuiling. De welvaarts groei gaat ook gepaard met meer migratie: van platteland naar stad en van economisch perifere gebieden naar economische centra.

Voorafal kust- en deltagebieden krijgen te maken met de gevolgen van migratie vanwege de goede mogelijkheden voor transport en handel en vanwege de aanwezigheid van vruchtbare landbouwgronden. Op dit moment leeft al veertig procent van de wereldbevolking binnen een afstand van 100 km van de zee (dat is iets meer dan de afstand van Den Haag tot Amersfoort). Op termijn zal zeventig procent van de wereldbevolking leven in kust- en deltagebieden.

Een van de gevolgen is dat er een accumulatie van kapitaal plaatsvindt in de vorm van woningen, bedrijven en infrastructuur in een omgeving die in meerdere opzichten kwetsbaar is. Niet alleen voor overstromingen (als gevolg van klimaatverandering kan de kans daarop groter worden), maar ook omdat delta's en kustgebieden fungeren als 'kraamkamer' voor allerlei vormen van leven.

Fysieke omgeving

Ook de fysieke omgeving verandert. Dat gebeurt natuurlijk altijd en soms met het nodige geweld. Voor een deel gaat het om gebeurtenissen die niet door mensen zijn te beïnvloeden, zoals vulkaanuitbarstingen, aardbevingen en tsunami's en orkanen. De groeiende bevolking en de groeiende welvaart maken echter dat de samenleving kwetsbaarder wordt voor dit soort natuurrampen. Een kwetsbaarheid die soms nog wordt verhoogd doordat mensen zich – hoe paradoxaal het ook klinkt – onkwetsbaar wanen en ervan uitgaan dat hen zo iets niet overkomt.

Meer nog dan natuurrampen zullen veranderend landgebruik en klimaatverandering van invloed zijn op onze fysieke omgeving. De gevolgen van klimaatverandering doen zich waarschijnlijk pas voelen op een langere termijn dan 2020, maar het maatschappelijk debat over de mogelijkheden en beperkingen van adaptatie of mitigatie maakt het tot een belangrijk thema. Temeer omdat de mogelijke effecten in de vorm van extreme weerscondities, stijging van de zeespiegel en droogte, de samenleving extra kwetsbaar maken. De gevolgen van veranderend landgebruik zijn nu al merkbaar in de vorm van uitputting van grondstoffen en zoetwatervoorraden en vermindering van de biodiversiteit in termen van soorten en ecosystemen.

Voor veranderingen in de fysieke omgeving geldt eveneens dat ze grote invloed hebben op de kwaliteit van leven in kust- en deltagebieden. Los van dit alles is kwetsbaarheid ook een functie van groei. Zelfs bij gelijkblijvende condities van klimaat en zeespiegel zouden de risico's in delta- en kustgebieden toenemen, omdat er een steeds groter economisch kapitaal op het spel staat. Het illustreert de samenhang tussen de veranderingen in de fysieke en die in de sociale omgeving.

Inmiddels maakt het klassieke Nederlandse waterbeheer een transitie door naar een breder deltabeheer, waarbij de dynamiek van water-, bodem- en ecologische systemen in onderlinge samenhang en in samenhang met maatschappelijke ontwikkeling wordt bestudeerd. Een dergelijke integrale benadering is niet alleen relevant voor de toekomst van Nederland, maar voor die van veel andere deltagebieden.

Duurzame ontwikkeling

De veranderingen in de sociaaleconomische en fysieke omgeving versterken de roep om duurzame ontwikkeling, dat wil zeggen een ontwikkeling die niet ten koste gaat van toekomstige generaties. In eerste instantie is het concept duurzame ontwikkeling eind jaren tachtig ontwikkeld als reactie op de uitputting van eindige voorraden fossiele brandstoffen en delfstoffen. Inmiddels is het concept verbreed naar beschikbaarheid en kwaliteit van water, lucht, natuur en landbouwgrond.

Ook ruimtegebruik is een belangrijk aspect van duurzame ontwikkeling. In de ruimtelijke planvorming wordt vooraf niet of nauwelijks gekeken naar de mogelijkheden en beperkingen van de bodem/ondergrond. Woonwijken, bedrijventerreinen en infrastructuur worden geprojecteerd in gebieden die ver onder zeeniveau liggen of

te kampen hebben met snelle bodemdaling. Niet alleen leidt dat tot overlast en soms hoge (herstel-)kosten; het kan ook schade toebrengen aan het Systeem Aarde.

In de kwart eeuw dat het concept 'sustainable development' op de agenda staat, is het doorgedrongen tot in de haarvaten van de maatschappelijke besluitvorming. Over de effecten van die ontwikkeling zijn de meningen verdeeld. Wat echter wel veranderd is, is dat politici, beleidsmakers en wetenschappers nu veel verder vooruit kijken dan vroeger het geval was. Beperkte de horizon zich vroeger tot hooguit enkele decennia en de eigen landsgrenzen, tegenwoordig omvat die de hele Aarde en – in de tijd – al gauw een eeuw of meer. Op deze tijd- en ruimteschalen zal de Aarde als systeem een steeds belangrijkere rol vervullen bij het maken van strategische beleidskeuzes.

3. ONDERZOEKSTHEMA'S

De veranderingen in de sociale en de fysieke omgeving en de wens om te komen tot duurzame ontwikkeling leiden tot vier centrale thema's voor aardwetenschappelijk onderzoek in Nederland:

- schaarste, zowel aan delfstoffen als aan ruimte en biologische rijkdommen;
- mogelijkheden voor (duurzame) energievoorziening;
- klimaatverandering en de gevolgen ervan met name voor laaggelegen delta's;
- risico's van natuurrampen.

De vier thema's hangen onderling samen en vragen om een integrale aanpak, waarbij de Aarde als systeem centraal staat. Tegelijkertijd sluiten ze aan bij de thema's die centraal staan in het internationale aardwetenschappelijke onderzoek. In de onderstaande box zijn kort opgesomd en samengevat essentiële en unieke bijdragen van aardwetenschappelijk onderzoek in Nederland van nu en in de toekomst voor de internationale wetenschapsagenda. Nederlandse aardwetenschappelijke consortia zijn op verschillende van deze terreinen internationaal leidend.

Internationaal

Aardwetenschappen zijn vanouds zeer internationaal georiënteerd. De keuze van onderzoeksthema's hangt daarom mede af van wat internationaal relevant wordt geacht. Omgekeerd levert internationaal onderzoek resultaten op die van belang zijn voor het oplossen van maatschappelijke problemen in Nederland. De volgende wetenschappelijke internationale vraagstellingen hangen samen met de eerdergenoemde thema's schaarste, duurzame energievoorziening, klimaat en water en natuurrampen:

1. Systeem Aarde

Het wetenschappelijk onderzoek is gericht op het begrijpen van het Systeem Aarde en het verkrijgen van inzicht in de samenhang van natuurlijke processen om betrouwbare scenario's te ontwikkelen voor duurzame ontwikkeling. Daarbij gaat het onder meer om:

- het modelleren en visualiseren van alle aspecten van de planeet Aarde in drie en zelfs vier dimensies (tijd) met een hoge resolutie;
- het herkennen en kwantificeren van omslagpunten in het dynamische systeem;
- het kwantificeren in de tijd van de kringlopen van geologisch materiaal in het Systeem Aarde;
- het koppelen van processen die in het inwendige van de Aarde plaatsvinden aan fenomenen op het aardoppervlak op verschillende tijd- en ruimteschalen.

2. Klimaat- en watersysteem

Voor een beter begrip en een grotere voorspelbaarheid richt het internationale aardwetenschappelijke onderzoek zich op het kwantificeren van (deel)aspecten van het klimaatstelsel. Daarbij gaat het onder meer om:

- de rol van mengprocessen in de atmosfeer en in de oceanen, alsmede de effecten daarvan op het klimaat;
- de veranderingen op korte termijn in de ijskappen die worden gedreven door de interacties tussen ijs, atmosfeer en oceaan en – op lange termijn – de veranderingen in de ijskappen door verhoging van het CO₂-gehalte en de stijging van de zeespiegel;
- de fluxen en rol van broeikasgassen op extreme klimaatveranderingen en de invloed daarvan op het mondiale klimaatstelsel.

3. Aarde en maatschappij

Een belangrijke onderzoeksvraag is wat het effect is van menselijk handelen op natuurlijke processen binnen het Systeem Aarde en hoe we de invloed ervan kunnen minimaliseren. Daarbij gaat het onder meer om:

- voorkomen van schaarste door hergebruik van natuurlijke bestaansbronnen zoals water, energie, land, bodem, mineralen;
- doelmatig en zorgvuldig gebruik van de ondergrond voor infrastructuur, opslag en winning.

4. Aarde en Leven

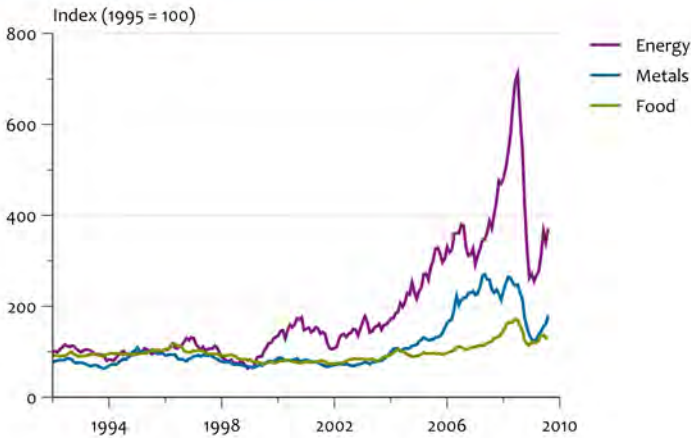
Het vierde onderzoeksthema is de wederzijdse beïnvloeding van Aarde en Leven, de abiotische en biotische componenten van het Systeem Aarde. Daarbij gaat het onder meer om:

- het modelleren van het ontstaan van het leven en de invloed ervan op de ontwikkeling van het Systeem Aarde;
- het doelmatig inzetten van ecosystemendiensten om de kwaliteit van water, lucht en bodem te verbeteren en de gezondheid van mens en ecosystemen te bevorderen.

a. Thema Schaarste

Overexploitatie van natuurlijke bestaansbronnen leidt tot schaarste. Dat beperkt zich niet tot fossiele brandstoffen. Ook delfstoffen, variërend van zeldzame mineralen tot zand en grind worden schaars. Tegelijkertijd neemt, als gevolg van de groeiende bevolking en de groeiende welvaart de behoefte aan grondstoffen en (bouw-)materialen toe. Om in die behoefte te voorzien, zoekt men steeds vaker op moeilijk bereikbare vindplaatsen en kwetsbare gebieden. De ontwikkeling van nieuwe technologieën voor bijvoorbeeld televisietoestellen, mobiele telefoons en communicatiemiddelen leiden bovendien tot een groeiende behoefte aan zeldzame delfstoffen, zoals lithium, kobalt, tantaal en antimoon.

Global prices energy, food and metals



Afbeelding 4. Mondiale prijzen van energie, voedsel en metalen. (Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), 2009)

Het opsporen en evalueren van voorkomens aan fossiele brandstoffen en (zeldzame) delfstoffen op moeilijk bereikbare plaatsen vergt geavanceerde technieken, inclusief 'remote sensing' vanuit vliegtuigen en satellieten. Voor het ontwikkelen en toepassen van die technieken, maar ook voor het interpreteren van de enorme stromen aan gegevens is geologisch inzicht onontbeerlijk. Tegelijkertijd moeten de effecten op de omgeving als gevolg van de winning nauwkeurig in kaart worden gebracht, zowel in de ondergrond als aan het oppervlak. En moeten er strategieën worden ontwikkeld om die effecten te minimaliseren en te controleren. Dit is noodzakelijk in verband met acceptatie door de plaatselijke bevolking van het duurzaam winnen van delfstoffen en de veilige opslag van bijvoorbeeld CO_2 .

Het winnen van bodemschatten is maar één aspect van bodemgebruik. Voor een goed beheer van de (diepe) ondergrond is ook onderzoek nodig naar de robuustheid en de veerkracht van het ‘systeem bodem’ op verschillende niveaus. In Nederland – maar daar niet alleen – gebeuren verschillende activiteiten naast en onder elkaar. Een voorbeeld is de combinatie van gaswinning, winning van warmte uit de diepe ondergrond (geothermie) en warmte/koude opslag op geringere diepte. Voor een duurzaam bodembeheer is het noodzakelijk om de bodem/ondergrond systematisch in kaart te brengen en de verschillende activiteiten goed op elkaar af te stemmen.

Naast schaarste aan fossiele brandstoffen en delfstoffen hebben we ook te maken met een groeiende schaarste aan biologische rijkdommen. De biodiversiteit in termen van soorten en ecosystemen neemt sterk af door veranderend landgebruik, vervuiling en klimaatverandering. Dat is niet alleen jammer om ethische en esthetische redenen, maar brengt ook het voortbestaan van mens en samenleving in gevaar. Immers, de mensheid profiteert van een veelheid van diensten die worden geleverd door ecosystemen. Voorbeelden zijn de vruchtbaarheid van de bodem, de kwaliteit van zoetwatervoorvormens, de afbraak van afvalstoffen en de natuurlijke kustverdediging door schorren, slikken en duinen.

Hoewel we inmiddels zijn doordrongen van het belang van ecosystemendiensten, weten we nog weinig van de precieze werking en de factoren die daarop van invloed zijn. Ook naar hun economische waarde is het nog gissen. De Aardwetenschappen kunnen, samen met de Levenswetenschappen, een belangrijke bijdrage leveren aan het kwantificeren van ecosystemendiensten. Op basis van die kennis zouden bijvoorbeeld landeigenaren een vergoeding kunnen ontvangen voor het faciliteren van deze diensten.



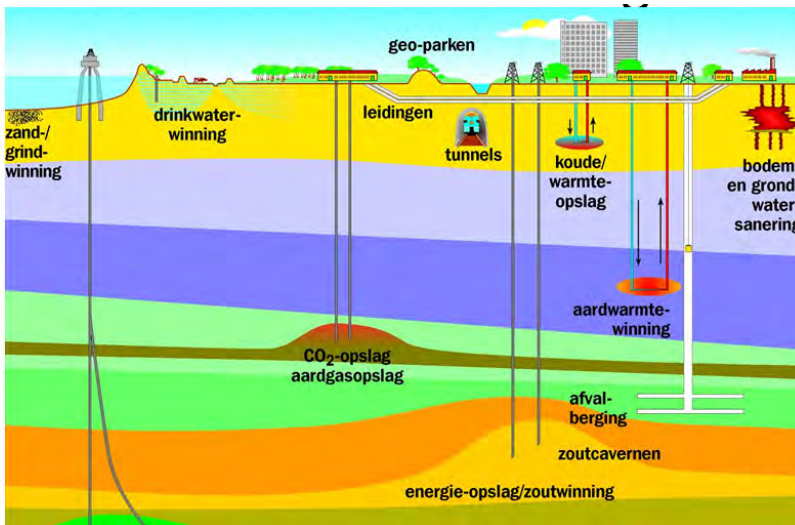
Afbeelding 5. Scarcity Pyramid. (Peter Koch, Stripstudio.nl, Delft, 2009)

Kennis van ecosystemen en hun onderliggende processen is ook van belang voor de *bio-based economy*, het gebruik van biomassa voor *non food*-toepassingen zoals chemicaliën, bouwmaterialen en energie. De vraag is waar en hoe de grondstoffen voor de groene economie het best geteeld kunnen worden, zonder een nieuwe schaarste te creëren – aan voedsel bijvoorbeeld – door een te groot beslag op schaarse ‘inputs’, zoals water en ruimte.

b. Thema Duurzame Energievoorziening

Aardwetenschappen hebben altijd een cruciale rol gespeeld bij het opsporen en winnen van fossiele brandstoffen. De hierbij opgebouwde kennis is onontbeerlijk voor het optimaal benutten van de beschikbare voorraden (enhanced recovery), het opsporen en ontwikkelen van moeilijk bereikbare bronnen en de zoektocht naar ‘onconventionele’ bronnen zoals gas uit schalies en diepe steenkoollagen. Omdat aardgas een stuk schoner is dan steenkool en olie, wordt het gezien als een belangrijke overgangsbrandstof naar een volledig duurzame energievoorziening.

Naast bron van fossiele energie is de ondergrond ook de bron van duurzame energie in de vorm van geothermie. Warmte uit de diepe ondergrond wordt rechtstreeks benut voor bijvoorbeeld het verwarmen van tuinbouwkassen of woonwijken, of omgezet in elektriciteit. Ook Nederland beschikt over een potentieel aan geothermie, waarvan een deel al wordt benut voor het verwarmen van kassen. Wat minder diep in de ondergrond worden aquifers gebruikt voor de seizoensopslag van zonnewarmte, Warmte Koude Opslag (WKO). Aan het oppervlak biedt de overgang tussen zoet en zout water mogelijkheden voor de productie van elektriciteit met behulp van membranen (blauwe energie). Ook kan energie worden opgewekt uit stromingen (rivieren, eb en vloedbewegingen) en golven.



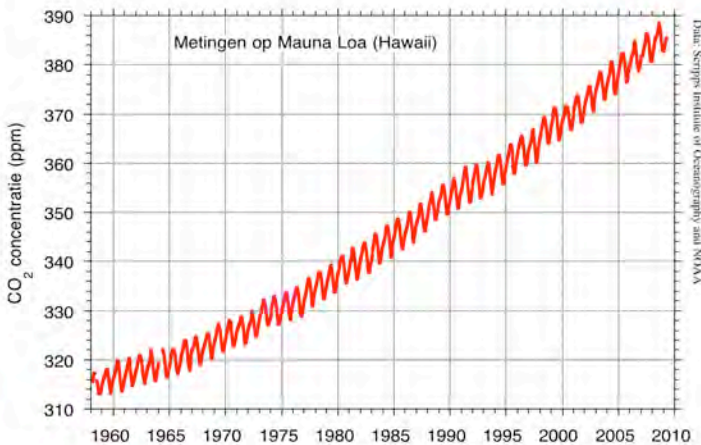
Afbeelding 6. Gebruik van de ondergrond en bodem. (TNO Geologische Dienst Nederland)

De ondergrond is ook in beeld als opslagplaats voor het afval van de energieproductie. De discussie over de ondergrondse opslag van kernafval verstomde enigszins na de ramp in Tsjernobyl en het besluit om radioactief afval voorlopig bovengronds op te slaan. Met de groeiende aandacht voor kernenergie zal die discussie ongetwijfeld weer actueel worden. Een andere vorm van ondergrondse opslag, die momenteel wel onderwerp is van maatschappelijke discussie betreft het veilig opslaan van CO₂ in lege gasvelden.

Al met al is aardwetenschappelijke kennis essentieel om de vragen die leven rond het duurzaam gebruik van bodem en ondergrond voor energiewinning en opslag te kunnen beantwoorden. Daarbij gaat het om kennis van fysische, chemische, biologische en hydrologische processen die elkaar onderling sterk beïnvloeden. Bij geologische processen hebben we bovendien te maken met veel langere tijdschalen dan waarmee mensen normaliter rekening houden. Om de vragen rond het gebruik van bodem en ondergrond te kunnen beantwoorden, is een integrale benadering nodig die rekening houdt met de snelheid van geologische processen.

c. Thema Klimaat en Water

Klimaatscenario's zullen zeker de komende tien jaar veel aandacht krijgen, mede omdat veel fundamentele vragen rondom de werking van het klimaatsysteem nog niet beantwoord zijn. Daarbij gaat het om vragen als, welke factoren van invloed zijn op de variabiliteit van het klimaatsysteem, hoe deze elkaar onderling beïnvloeden en wat de gevolgen zullen zijn van (abrupte) veranderingen in een of meer van die factoren. Het antwoord op deze en andere vragen is van belang bij het vormen van klimaatscenario's, bij voorkeur bij scenario's die een relatief korte termijn van een of enkele decennia betreffen. Daarnaast is er behoefte aan voorspellingen op regionaal niveau op basis van downscaling van mondiale klimaatmodellen en regionale waarnemingen.



Afbeelding 7. CO₂-metingen op Hawaii. (Prof. dr. H.A.J. Meijer, Rijksuniversiteit Groningen, op basis van data van het Scripps Institute of Oceanography en National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA))

Aardwetenschappen spelen een prominente rol bij het onderzoek van het klimaatstelsel, de veranderingen en de gevolgen daarvan. Voor een deel gaat het daarbij om monitoring: het opstellen en evalueren van lange-termijn tijdreeksen van het gehalte van broeikasgassen in de atmosfeer, de zuurgraad van oceanen, de omvang van ijsmassa's, het niveau van de zeespiegel en de hoeveelheden fytoplankton en vegetatie. Deze gegevens zijn onontbeerlijk voor het ontwikkelen, preciseren en ijken van klimaatmodellen.

Naast lange-termijn meetreeksen kunnen klimaatscenario's ook worden verbeterd door te kijken naar klimaatveranderingen en hun effecten in het verleden, zoals die zijn vastgelegd in de geologische geschiedenis van onze eigen Aarde en van de nabije planeten Venus en Mars. Paleoklimatologisch onderzoek levert inzichten op waarmee de huidige klimaatmodellen robuuster worden gemaakt en de scenario's meer betrouwbaar. Een voorbeeld zijn de recent gepubliceerde simulaties van het smelten van de Groenlandse en Antarctische ijskappen. Daaruit blijkt dat als gevolg van zwaarte-effecten, de zeespiegel niet overal uniform zal stijgen en hier en daar zelfs zal dalen.

Om goed te kunnen inspelen op de effecten van klimaatverandering op landschappen en ecosystemen is verdiepende kennis nodig over de veerkracht van ecosystemen, de bandbreedtes waarbinnen ze functioneren en de interactie tussen biotische en abiotische factoren. Op grensvlakken tussen verschillende disciplines ontwikkelt zich inmiddels vernieuwend onderzoek waarbij complete systemen worden bestudeerd. Voorbeelden zijn het systeem *atmosfeer-oceaan-cryosfeer-biosfeer* en op regionale schaal het systeem *atmosfeer-bodem-hydrosfeer-waterhuishouding*.

Het onderzoek naar de interactie tussen verschillende 'sferen' laat zien dat klimaat en water nauw zijn verbonden. Daarbij gaat het niet alleen om veranderingen in oceaanstromingen en stijging van de zeespiegel, maar ook om de effecten van klimaatverandering op verandering in neerslagpatronen, zoals moessons, op de duur van droogteperiodes, op het smelten van sneeuw, gletsjers en ijskappen, op de dynamiek van rivieren, op de vegetatie en op de (grond)waterhuishouding. Menselijk ingrijpen om deze effecten te compenseren, zoals het aanleggen van irrigatiesystemen en systemen voor kustverdediging, is buitengewoon kostbaar en is alleen effectief als het kan worden onderbouwd met de resultaten van onderzoek naar aard en omvang van de te verwachten effecten van klimaatverandering.

d. Thema Natuurrampen

Onze fysieke – en bijgevolg ook onze sociale omgeving – verandert als gevolg van natuurrampen. Voor een deel gaat het daarbij om autonome processen binnen het Stelsel Aarde, zoals vulkaanuitbarstingen en aardbevingen. Dergelijke, soms zeer gewelddadige processen, kunnen we niet voorkomen of beheersen. Voortschrijdend inzicht in de geologische processen die plaatsvinden in de aardkorst en de mantel – met name de plaattektoniek – maakt het op termijn hopelijk mogelijk om voorspellingen te doen en zo de schade te beperken.

Hetzelfde geldt in principe voor orkanen. Inzicht in atmosferische en oceanische processen maakt het mogelijk om steeds betere voorspellingen te doen over route en energie-inhoud. Zowel bij geologische als atmosferische fenomenen is er grote behoefte aan onderzoek naar de grenzen van de voorspelbaarheid en de resterende onzekerheidsmarges.

Om het inzicht in geologische, oceanische en atmosferische processen te vergroten en de modellen te verfijnen zijn gegevens nodig. Het verwerven daarvan gebeurt via internationale samenwerking, waarbij metingen plaatsvinden via een fijnmazig netwerk van sensoren. Hoe fijnmaziger het netwerk, hoe beter we in staat zijn om deze processen en hun onderlinge interacties te analyseren en te kwantificeren. Dat leidt tot betere voorspellingen, een grotere betrouwbaarheid van de risicoanalyses en een meer adequaat waarschuwingssysteem. Het blijft echter van groot belang om begrip te kweken bij de bevolking over het optreden van natuurrampen en de onzekerheden bij het voorspellen van tijdstip, locatie en omvang.

Naast natuurrampen die te wijten zijn aan autonome processen binnen het Systeem Aarde zijn er ook 'natuurrampen' die direct of indirect worden veroorzaakt door menselijk ingrijpen. Voorbeelden zijn de bodemdaling als gevolg van het winnen van delfstoffen, de verzilting door de aanleg van waterwerken en de ernstige bodemdegradatie, soms gepaard gaande met modderstromen en aardverschuivingen, door ontbossing, als ook overstromingen door onder meer ontbossing van stroomgebieden. In bestaande situaties is het essentieel om fysische en chemische parameters te monitoren. Die gegevens zijn nodig om vast te stellen of, en zo ja op welke manier moet worden ingegrepen om rampen te voorkomen. Aardwetenschappen en dan met name het deelgebied *geo-engineering*, kunnen worden ingezet om vooraf de risico's vast te stellen van menselijke ingrepen. Voor deltagebieden als Nederland gaat het daarbij onder meer om kustverdediging, bodemdaling en afwateringsproblemen.



Afbeelding 8. Zandsuppletie. (Rijkswaterstaat, Adviesdienst Geo-informatie en ICT, Beeldbank Ministerie van Verkeer en Waterstaat)

4. AARDWETENSCHAPPEN IN NEDERLAND

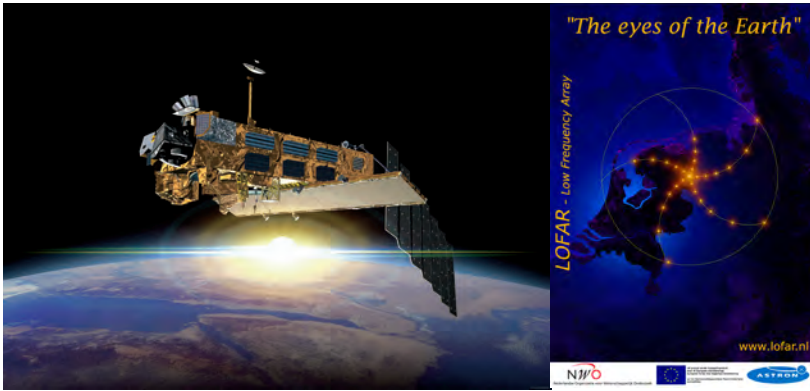
Schaarste aan grondstoffen en energie, klimaatverandering, natuurrampen en landdegradatie zijn ernstige problemen die, wanneer ze niet worden opgelost, duurzame ontwikkeling van de samenleving blokkeren. Deze problemen hangen onderling samen en maken deel uit van de dynamiek van het Systeem Aarde.

Voor werkelijk duurzame ontwikkeling is het noodzakelijk dat we de processen binnen het Systeem Aarde beter leren begrijpen, inclusief alle complexe, niet-lineaire interacties tussen die processen. Beter inzicht in het Systeem Aarde zorgt ook voor meer begrip over de ondersteuning van het ‘Systeem Leven’ in al zijn diversiteit en op verschillende tijd- en ruimteschalen.

De maatschappelijke betekenis van de Aardwetenschappen is tweëerlei. Enerzijds levert het wetenschappelijk onderzoek informatie en inzichten op die van direct belang zijn voor het oplossen van problemen, waarmee de samenleving wordt geconfronteerd. Dat varieert van aardobservatie vanuit de ruimte (remote sensing) en de ontwikkeling van nieuwe technieken voor het opsporen van olie en gas, tot klimaatonderzoek en de evolutie van ecosystemen.

Aan de andere kant leiden de aardwetenschappelijke (sub-)faculteiten deskundigen op die met een aardwetenschappelijke invalshoek aan de slag gaan bij overheden, bedrijven en kennisinstellingen. Hoewel qua inhoud zeer gevarieerd, hebben de opleidingen als gemeenschappelijk kenmerk, dat ze mensen afleveren die de Aarde als een samenhangend systeem beschouwen.

Als gevolg daarvan kunnen ze beter dan gemiddeld gegevens generaliseren en schematiseren alvorens ze te analyseren. Bovendien hebben ze leren denken in tijd- en ruimteschalen. Die competenties maken dat aardwetenschappers zowel binnen als buiten de academische wereld een forse bijdrage kunnen leveren aan het duurzaam ontwikkelen van de samenleving.



Afbeeldingen 9a en 9b. Links Envisat, een recente satelliet van het European Space Agency (ESA) voor het monitoren van bewegingen aan het aardoppervlak, en rechts Low Frequency Array (LOFAR) Network, toepassing van nieuwe seismische technieken om het binnenste van de Aarde in beeld te brengen (ESA en ASTRonomisch Onderzoek in Nederland – ASTRON).

Samenwerking

Bundeling van expertise en faciliteiten maakt het mogelijk om nieuwe uitdagingen aan te pakken en innovatieve onderzoeksmethoden te ontwikkelen. Van dat besef was de aardwetenschappelijke gemeenschap al vroeg doordrongen. Reeds in de jaren tachtig kozen de universiteiten ervoor om afspraken te maken over taakverdeling en concentratie. Wat opleidingen betreft heeft de taakverdeling ertoe geleid dat er drie universiteiten zijn, die een breed scala aan aardwetenschappelijke opleidingen aanbieden. Dat zijn de Technische Universiteit Delft (TUDelft), de Universiteit Utrecht (UU) en de Vrije Universiteit te Amsterdam (VU). Daarnaast zijn er drie universiteiten die gespecialiseerde opleidingen aanbieden. Dat zijn de Universiteit van Amsterdam (UvA), de Technische Universiteit Twente (UTwente) en de Wageningen Universiteit en Research Centre (WUR). Het International Training Center (ITC) maakt sinds kort deel uit van de Faculteit Geo-informatiewetenschappen en Aardobservaties van de UTwente. En verder het Institute for Water Education (UNESCO-IHE) dat gevestigd is in Delft.

In de afgelopen periode is het aardwetenschappelijk onderzoek gebundeld in nationale onderzoekscholen, die hun programma's op elkaar afstemmen. Daarnaast worden de krachten gebundeld in landelijke samenwerkingsverbanden, waaronder het topinstituut Netherlands Research Centre for Integrated Solid Earth Science (ISES)

Toponderzoek

- ISES opgezet voor geïntegreerde Aardwetenschappen van de vaste Aarde, waarin TUDelft, UU en VU samenwerken;
- Darwin Centrum voor Biogeologie, waarin Aard- en Levenswetenschappen zijn geïntegreerd. Partners zijn: Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO), Neder-

lands Instituut voor Zeeonderzoek (NIOZ), Radboud Universiteit Nijmegen (RUN), UU, UvA, VU en WUR;

- Buys Ballot Onderzoekschool voor meteorologie, oceanografie en klimaatonderzoek met deelname van Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), NIOZ, Stichting Ruimte Onderzoek Nederland (SRON), UU en WUR;
- Boussinesq Centrum voor hydrologisch onderzoek, waarin samenwerken: Alterra, Deltares, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), TNO Geologische Dienst Nederland, TUDelft, UNESCO-IHE, UTwente, UU, VU en WUR.

Naast de universiteiten kent Nederland een aantal niet-universitaire kennisinstellingen die zich wijden aan aardwetenschappelijk onderzoek, zoals Alterra, Deltares, het KNMI, het NIOO, het NIOZ en een deel van TNO Geologische Dienst Nederland. Via incidentele en meer structurele verbanden werken de universiteiten en andere kennisinstellingen samen met het nationale en internationale bedrijfsleven en met bijvoorbeeld het Staatstoezicht op de Mijnen. Dat varieert van excursies en stages tijdens de opleiding, promotieonderzoek en gemeenschappelijke aanstellingen tot het bevorderen van gender equality.

Excellent onderzoek

In maart 2010 heeft het NOWT in opdracht van het ministerie van OCW het rapport Wetenschaps- en Technologie- Indicatoren 2010 uitgebracht. Het rapport geeft een analyse van de belangrijkste kenmerken van het Nederlandse kennissysteem in mondiaal perspectief. Daaruit blijkt dat Nederlandse onderzoekers tot de meest productieve ter wereld behoren. Ook de kwaliteit van het wetenschappelijk onderzoek – universitair en buitenuniversitair – is van wereldklasse, zo blijkt uit de Citatie Impact Analyse.

Het rapport laat ook de relatieve sterktes en zwaktes zien van de verschillende wetenschapsgebieden voor de periode 2005-2008 (tabel 5.4, pagina 99). Daaruit blijkt dat Aardwetenschappen en technologie een Citatie Impact heeft van meer dan 1,4. Dat is zeer goed. Omdat de omvang van het gebied Aardwetenschappen en technologie betrekkelijk gering is, zowel in verhouding tot het totale Nederlandse onderzoek als in vergelijking met andere landen, wordt deze prestatie geclassificeerd als ‘aantoonbaar excellent onderzoek met relatief bescheiden middelen’. Naast Aardwetenschappen en technologie behoren in Nederland alleen Chemie en chemische technologie en Fysica en materiaalkunde tot deze topklasse.

Instroom studenten

De samenwerking van Nederlandse universiteiten en kennisinstellingen heeft in 2000 geleid tot het initiatief Aarde.Nu (www.aarde.nu) om Aardwetenschappen onder de aandacht te brengen van leerlingen en docenten in het voortgezet onderwijs, met

name in de profielen 'Natuur en Techniek' en 'Natuur en Gezondheid'. En met succes. De toename in aantallen studenten tussen het studiejaar 2004/05 en 2009/10 bewijst dat aardwetenschappers erin geslaagd zijn om de interesse voor het fascinerende vakgebied Aardwetenschappen te vergroten. De instroom in de Bacheloropleiding is verdubbeld in die periode, terwijl het aantal studenten dat een Masteropleiding volgt in diezelfde periode met een derde is toegenomen.

Tabel 1: instroom studenten in aardwetenschappelijke Bacheloropleidingen en aantallen vrouwen (periode 2004-2009/2010) (bron: Het Platform Beta Techniek Vhto, instroom wetenschappelijk onderwijs natuur/techniek; Vereniging van Universiteiten – VSNU)

Opleiding	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010
Aardwetenschappen	116	118	146	156	152	160
vrouwen	45	42	59	59	41	41
Bodem, Water, Atmosfeer	34	38	33	35	47	61
vrouwen	13	15	11	12	15	23
Technische Aardwetenschappen	19	37	33	32	40	46
vrouwen	3	10	4	11	7	10
Aarde en Economie	-	-	37	55	60	70
vrouwen	-	-	12	8	13	25
Totaal	169	193	249	278	278	337
% vrouwen	36	35	35	32	27	32

Het aandeel vrouwen blijft betrekkelijk constant: ongeveer een derde in de Bacheloropleiding en circa veertig procent in de Masteropleiding. Het verschil laat zich verklaren uit het fenomeen dat het studiesucces van vrouwelijke studenten beduidend hoger is dan van mannelijke studenten. Daarin onderscheidt Aardwetenschappen zich overigens niet van andere studies.

Tabel 2: instroom studenten in aardwetenschappelijke Masteropleidingen en aantallen vrouwen (periode 2004-2009) (bron Het platform Beta Techniek Vhto, instroom wetenschappelijk onderwijs natuur/techniek; VSNU)

Opleiding	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009
M Earth Science	17	24	5	6	4
Vrouwen	9	8	4	4	2
M Earth System Science/Climate Studies	4	5	6	4	5
Vrouwen	1	3	2	2	4

M Geo-Environmental Science	3	1	2	4	10
vrouwen	-	-	1	3	5
M Geographical Sciences	10	14	30	26	34
vrouwen	-	4	9	8	12
M Geo-Information Science	33	29	23	12	20
vrouwen	10	13	5	7	7
M Geosciences of Basins and Lithosphere	-	2	9	22	12
vrouwen			6	15	7
M Hydrology	3	6	2	1	16
vrouwen	1	3	2	1	11
M Hydrology and Water Quality	22	24	19	17	17
vrouwen	12	13	4	6	8
M Meteorology and Air Quality	4	8	10	10	12
vrouwen	0	3	4	3	6
M Natuurkunde en Meteorologie & Fysische Oceanografie	9	12	42	46	35
vrouwen	1	1	20	13	10
M Palaeoclimatology and Geo-ecosystems	-	-	37	25	22
vrouwen	-	-	2	2	4
M Soil Science	12	7	11	8	9
vrouwen	8	3	4	4	4
Totaal	117	132	196	181	196
% vrouwen	36	39	34	38	40

Ondanks de toename van het aantal studenten worden er te weinig aardwetenschappers opgeleid om de vacatures die de komende jaren zullen ontstaan op te vullen. De vraag naar goed opgeleide aardwetenschappers is nu al zo groot dat afgestudeerden geen probleem hebben bij het vinden van een baan. Met name oliebedrijven, maar ook de (semi)overheid hebben in toenemende mate behoefte aan aardwetenschappers die een excellente opleiding hebben gekregen. Afgezien daarvan zijn er veel aardwetenschappers nodig om innovatief en grensverleggend onderzoek te doen en op die manier bij te dragen aan het oplossen van de grote aardkundige problemen, zoals schaarste aan grondstoffen en ruimte, klimaatverandering, energietekorten en de kaalslag van ecosystemen.

Omzet

Terwijl het aantal studenten – zowel Bachelor als Master – fors is toegenomen, zijn de uitgaven voor Aardwetenschappen in Amsterdam (VU), Delft en Utrecht min of meer gelijk gebleven, namelijk rond de 28 miljoen euro. Het aandeel van de tweede en derde geldstroom in die periode is aanzienlijk groter geworden. Was een percentage van rond de 25% vijf jaar geleden de norm op de universiteiten, in 2009 is de helft (50%) van het besteedbare budget afkomstig van tweede en derde geldstromen (*QANU Research Review Earth Sciences*, november 2009). Omdat de investeringen ook minder zijn geworden en voornamelijk worden verworven uit middelen van de tweede en derde geldstroom en de aantallen studenten zijn toegenomen is het aandeel eerste geldstroom in absolute termen fors afgenomen.

Tabel 3: uitgaven voor Aardwetenschappen aan TUDelft, UU en VU tezamen afgerond op MEuro (bron o.a. *QANU Research Review Earth Sciences*, november 2009 en update voor de jaren 2008 en 2009).

	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Totaal	27	26	27	28	29	29

Zoals eerder opgemerkt werken de Nederlandse universiteiten nauw samen met niet-universitaire kennisinstellingen. Investerings in die instellingen komen dan ook voor een deel ten goede aan universiteiten. Het deel van de gezamenlijke jaarlijkse omzet van de kennisinstellingen, dat relevant is voor de kwaliteit van de Nederlandse Aardwetenschappen, bedraagt ongeveer 300 miljoen euro. Daarvan wordt ongeveer 10% (30M€) op jaarbasis ingezet voor verdiepend onderzoek.

De geplande bezuinigingen en verwachte ombuigingen, die op dit moment nog qua grootte onbekend zijn maar die zeker in het huidige regeringsbeleid aan de orde zijn (momentele verwachtingen zijn dat het zal gaan om percentages die kunnen oplopen tot wel 20% in verband met oplopende salariskosten en premies, die niet wordt gecompenseerd door het ministerie) zetten de ontwikkeling van Aardwetenschappen onder druk. Dat dreigt ten koste te gaan van de kwaliteit van het aardwetenschappelijk onderzoek en onderwijs, waardoor Nederland zijn positie in de mondiale Top Vijf kan verliezen. Dat wordt bevestigd in het eerdergenoemde NOWT-rapport, dat meldt dat de Nederlandse toppositie op het gebied van *Aardwetenschappen en technologie* onder druk staat. Ook de samenwerking tussen universiteiten, kennisinstellingen, industrie en overheid zal onder druk komen te staan als gevolg van bezuinigingen op het wetenschappelijk onderzoek en onderwijs, waardoor 'het ieder voor zich' zeker weer zal opduiken.

Dat is een slechte zaak. Het is niet alleen een internationaal, maar ook een nationaal belang om onze expertise op dit gebied te vergroten. Ook Nederland wordt immers geconfronteerd met het effect van wereldwijde ontwikkelingen, zoals de stijging

van de zeespiegel. Bovendien kampen we ook met lokale problemen, zoals inklinking en bodemdaling.

Noblesse oblige. Nederland kan een grote bijdrage leveren aan een beter begrip van het Systeem Aarde, mits het een vooraanstaande positie kan blijven innemen op dit gebied en niet afglijdt door gebrek aan voldoende middelen. Tegelijkertijd betekent die vooraanstaande positie dat er deuren opengaan voor Nederlandse onderzoekers, adviseurs en bedrijven. Ook daarom is het van belang dat Nederlandse aardwetenschappers nationaal en internationaal kunnen blijven samenwerken.

Omringende landen laten een verdeeld beeld zien wat betreft hun beleid ten aanzien van de kennis economie. Sommige landen zoals Duitsland en Frankrijk investeren fors in de komende jaren in kennisvergroting, terwijl bijvoorbeeld het Verenigd Koninkrijk een forse bezuiniging doorvoert. Een recent rapport van de Europese commissie (*EU Building an Innovation Union*, oktober 2010) laat de zorgwekkende trend zien dat het aandeel van de Europese Unie in de globale kennismarkt aan het dalen is. In hetzelfde rapport wordt een aantal maatschappelijke globale uitdagingen genoemd, die naadloos aansluiten aan de thema's genoemd in *Agenda 2020*: gebruik van natuurlijk hulpbronnen, klimaatverandering, energiezekerheid, landgebruik, etc. De Europese Unie zet daarom in op excellentie in onderwijs en vaardigheden. Zij zet in op onderzoek door het mogelijk te maken toptalenten te behouden en aan te trekken en zo te kunnen voorzien in de miljoenen onderzoekers die meer nodig zijn om de Europese doelstellingen op het gebied van *Research and Development* te kunnen halen. De Europese Unie zal inzetten op privaatpublieke partnerships en persoonlijke *grants*. Door het maken van onderlinge afspraken en afstemming zullen de Aardwetenschappen in Nederland in staat zijn een verregaande bundeling en samenwerking te bewerkstelligen, waardoor toekomstige competitie en uitdagingen in Europa kunnen worden aangegaan en er optimaal geprofiteerd kan worden van de mogelijkheden die er zijn en komen.

Het doel van de *Agenda 2020*, opgesteld na een uitgebreide inventarisatie onder betrokkenen, is om eraan bij te dragen dat Nederland zijn vooraanstaande positie op aardwetenschappelijk gebied weet te behouden en te versterken. Tegelijkertijd moet er worden voldaan aan de groeiende vraag naar meer, adequaat opgeleide aardwetenschappers die in staat zijn om te anticiperen op wetenschappelijke en maatschappelijke vragen met betrekking tot het Systeem Aarde. In het verlengde daarvan heeft de *Agenda 2020* verder tot doel om onderwijs en onderzoek te versterken en de samenwerking tussen de universiteiten onderling en met kennisinstellingen, advies- en ingenieursbureaus en bedrijven te verbeteren.

De mate waarin we erin slagen om onze expertise te behouden en te versterken, hangt sterk af van de manier waarop en van de omgeving waarin we jonge mensen opleiden en trainen. Immers, zij zijn de actoren van de kenniseconomie in de komende decennia en spelen een cruciale rol bij het vinden van oplossingen voor huidige en toekomstige uitdagingen, zoals de ontwikkeling van duurzame energie en hernieuwbare grondstoffen, de effecten van klimaatverandering en de risico's van natuurrampen.

5. AANDACHTSPUNTEN, AANBEVELINGEN EN MIDDELEN

Universiteiten en andere kennisinstellingen moeten een cultuur en omgeving scheppen die deze kwaliteiten stimuleert; die uitdaagt tot kritisch en onafhankelijk denken, leergierigheid stimuleert en ruimte biedt aan ambities om intellectuele verworvenheden verder uit te bouwen en toe te passen. Om de beste Masterstudenten, promovendi en post-docs aan te trekken en te behouden, moeten de instellingen bovendien de mogelijkheid bieden voor uitdagend en wetenschappelijk grensverlengend onderzoek én aan maatschappelijk relevante thema's.

Aandachtspunten

Voor het realiseren van bovenstaande ambities, is een breed gedragen beleid nodig. Daarbij zijn de volgende aandachtspunten van belang:

1. Handhaven van diversiteit in de Aardwetenschappen

Het is onmogelijk om in detail te voorspellen welke specifieke kennis nodig is om in te spelen op de wereldwijde uitdagingen en de bijbehorende risico's. Dat geldt al evenzeer voor maatschappelijke ontwikkelingen, inclusief het ontstaan van nieuwe markten. Daar doorheen speelt dat ook maatschappelijke effecten van technologische ontwikkelingen zich niet of nauwelijks laten voorspellen. Verdieping van kennis maakt het noodzakelijk om de diversiteit aan disciplines binnen het aardwetenschappelijk onderwijs en onderzoek te handhaven. Immers, diversiteit is de beste voorbereiding op een ongewisse toekomst.

2. Interdisciplinair samenwerken stimuleren

Succesvol toepassen van grensverleggend wetenschappelijk en technologisch onderzoek – innovaties – zijn vaak gebaseerd op inbreng vanuit diverse disciplines. Juist op het grensvlak tussen disciplines krijgt vooruitgang gestalte. Naast verdieping binnen de disciplines moeten daarom ook het interdisciplinaire onderzoek en onderwijs worden gestimuleerd. Dat vraagt om een leer- en onderzoekomgeving, waar beiden – zowel mono- als interdisciplinair onderzoek en onderwijs – gedijen. Een goed voorbeeld is de samenwerking over de grenzen van één kennisinstelling heen in onderzoekscholen. Ook het delen van faciliteiten, zoals de meetmast van Cabauw (zie kader) en databestanden bevordert zowel de disciplinaire verdieping als de interdisciplinaire samenwerking. Ook moet er voldoende interactie zijn met stakeholders en beleidsmakers, mits dat niet leidt tot disciplinaire ‘verdunning’.



Afbeelding 10. Meetmast Cabauw. (Foto KNMI)

Nabij Cabauw, gemeente Lopik, heeft het KNMI een meetlocatie waar de atmosfeer tot op grote hoogte bemeaten wordt. Straling, wind, temperatuur, vocht, vele gassen – waaronder broeikasgassen –, fijnstof, wolken en bodemwater worden gemeten om zo tot een beter begrip te komen van de atmosfeer. Voor het verzamelen van al deze metingen wordt sinds lange tijd samengewerkt met diverse onderzoekinstellingen in Nederland. In 2002 is deze samenwerking tussen de TUDelft, UU en WUR en de onderzoekinstellingen Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN), KNMI, RIVM en TNO Geologische Dienst Nederland en verder ESA, geformaliseerd in CESAR. De locatie omvat aparte terreinen voor stralingsmetingen, remote sensing-instrumenten en metingen voor uitwisseling met het landoppervlak. Het meest opvallende is de meteorologische meetmast van 213 meter die reeds in 1972 door het KNMI in gebruik genomen is. Regelmatig vinden op de locatie internationale campagnes plaats. Door de intensieve samenwerking binnen CESAR is de locatie uitgegroeid tot een van de belangrijkste atmosferische sites in de wereld. De waarnemingen van CESAR worden door vele onderzoeksgroepen over de wereld gebruikt en de site fungeert als internationaal platform voor het testen van nieuwe meetmethoden, modellen en satellietmetingen.

3. Versterken positie in internationale netwerken

Zeker in het aardwetenschappelijk onderzoek en onderwijs behoren de landsgrenzen de facto tot het verleden. Onderzoekresultaten werden altijd in internationale tijdschriften gepubliceerd, maar tegenwoordig wordt het onderzoek ook steeds vaker uitgevoerd in internationale netwerken. In het kielzog daarvan worden ook opleidingsprogramma's steeds internationaler. Als toonaangevend knooppunt in internationale netwerken brengen de Nederlandse Aardwetenschappen focus en massa aan op bepaalde terreinen in de vorm van Centres of Excellence, zoals bijvoorbeeld de topschool ISES en het Darwin Centrum voor Biogeologie in Utrecht. Daarmee kan Nederland de beste talenten in de wereld aantrekken en een vooraanstaande rol blijven spelen in de wereldwijde kenniscompetitie. Dat is niet alleen van belang voor het onderzoek zelf, maar ook voor de ambitie van Nederland om te behoren tot de Top Vijf kennis-economieën in de wereld.

Beleidsaanbevelingen voor universiteiten, kennisinstellingen, bedrijfsleven en overheid

De aanbevelingen van de werkgroep voor de Agenda 2020: Visie op het aardwetenschappelijke wetenschapsveld richten zich op het versterken van onderwijs en onderzoek en infrastructuur en op het vergroten van de bewustwording van de maatschappelijke rol en betekenis van de Aardwetenschappen voor duurzame ontwikkeling.

A. Universiteiten dienen onderwijs en onderzoek te versterken door:

- Het verstevigen en uitbouwen van de relatie met andere opleidingen in de natuurwetenschappen, zoals Natuurkunde, Scheikunde, Wiskunde, Informatica en Biologie onder andere door meer aandacht te schenken aan het vergroten van kennis en vaardigheden op deze gebieden in de Bacheloropleiding. Het voortouw dient hier te worden genomen door de universiteiten zelf.
- Een nationaal leerstoelenbeleid dat ruimte biedt aan (nieuwe) deelgebieden, zoals Klimaatdynamica, Grondstoffschaarste en Geopolitiek. De uitstroom van hoogleraren en docenten biedt daarnaast kansen om de diversiteit van het personeelsbestand te vergroten, onder andere door het aanstellen van vrouwelijke hoogleraren

en stafleden. De universiteiten dienen hieraan samen te werken met kennisinstellingen en het bedrijfsleven.

- Schaalvergroting en verbetering van vooral de Masteropleidingen voor verbetering van het studierendement en het scheppen van een omgeving waarin excellentie kan opbloeien. Te denken valt aan het organiseren van Masteropleidingen Aardwetenschappen in 'Randstad Nederland', zoals al met de Masteropleidingen Wiskunde gebeurt. Met het oog op de toekomst in Europese context kan ook worden gedacht aan verregaande samenwerking en afstemming van de Bacheloropleidingen. Het voortouw dient hier te worden genomen door de universiteiten zelf.
- Ontwikkelen en versterken van specialistische kennis en vaardigheden, die essentieel zijn om toekomstige maatschappelijke uitdagingen adequaat te adresseren. Om te voorkomen dat bepaalde specialismen in de gevarezone komen door een gebrek aan studenten, moeten ze, zonder administratieve of financiële belemmeringen, opengesteld worden voor alle geïnteresseerde Masterstudenten in Nederland. Een samenwerking tussen universiteiten, kennisinstellingen en het bedrijfsleven ligt hier voor de hand.
- Behouden en versterken van nationale onderzoekscholen, die de afgelopen vijftien jaar meerwaarde hebben gecreëerd door overlapping in het aardwetenschappelijk onderzoek te voorkomen en onnodige concurrentie binnen Nederland te vermijden. Voor de (jonge) onderzoeker vormen ze daarnaast een inspirerende omgeving en een toegangspoort tot internationale netwerken. Met de ontwikkeling van per universiteit georganiseerde Campus Graduate Schools wordt de klok voor kleinere disciplines, zoals de Aardwetenschappen, twee decennia teruggezet. De oprichting ervan mag niet ten koste gaan van de nationale onderzoekscholen, zoals ook KNAW, NWO en de VSNU bepleiten.

B. *Universiteiten, onderzoeksinstellingen en overheid dienen de infrastructuur te versterken door:*

- Behoud en versterking van nationale data- en informatiebestanden, zodat de gegevens actueel en toegankelijk blijven en gebruikt kunnen worden voor numerieke en analoge modellering en scenario-ontwikkeling. Naast adequate financiering betekent dat ook het voeren van regie wat de gebruikte software betreft en het zorgen dat de data zelf plus de bestanden voldoen aan internationale standaarden. Een belangrijke stap is het realiseren van optimale uitwisselbaarheid en toegankelijkheid van de databestanden. Met name hiervoor is het van belang dat onderzoekinstellingen en kennisinstellingen afspraken maken met universiteiten.
- Bouwen en beheren van gezamenlijke nationale faciliteiten voor moderne observatie- en analysetechnieken, modellering en scenario-ontwikkeling en geotechniek. Op die manier kunnen de hoge kosten worden gedeeld en wordt de apparatuur efficiënt benut. Bestaande voorbeelden zijn onder meer de eerder genoemde meetmast van Cabauw en het onderzoekschip Pelagia, onderdeel van de Marine Research Facility van NWO. Dit kan alleen maar gerealiseerd worden doordat alle betrokken partijen met elkaar samenwerken en hun beleid op elkaar afstemmen.



Afbeelding 11. Onderzoekschip Pelagia. (Foto NIOZ/Flying Focus)

In navolging van Duitsland en de Verenigde Staten verdient het aanbeveling dat ook Nederland observatoria inricht om, op karakteristieke locaties, aardkundige processen integraal te bestuderen en onderdeel te laten zijn van de aardwetenschappelijke opleiding. Het voorbeeld van de meetmast van Cabauw laat zien hoe belangrijk dit is. Andere observatoria in Nederland op het gebied van hydrologie en modellering zijn denkbaar om te worden uitgewerkt

- Versterken van deelname aan Europese infrastructurele voorzieningen. De Road Map van het European Strategy Forum on Research Infrastructures voorziet in een infrastructuur voor internationale onderzoeknetwerken, waar Nederlandse onderzoeksgroepen leidend zijn (European Plate Observing System (EPOS), Integrated Carbon Observation System (ICOS) en European Energy Research Alliance (EERA)). Dat biedt uitstekende mogelijkheden voor het aantrekken van grote infrastructurele voorzieningen, vooropgesteld dat de overheid bereid is om daar een bijdrage aan te leveren, zowel financieel als anderszins (locatie). *Universiteiten en met name NWO dienen hier samen op te trekken.*

C. *Universiteiten dienen hun maatschappelijke positie te versterken in samenwerking met OCW door:*

- Vergroten van het maatschappelijk besef van het belang van moderne aardwetenschappelijke kennis en inzichten. Duurzame ontwikkeling betekent dat er in de maatschappelijke besluitvorming veel meer dan voorheen rekening moet worden gehouden met het effect van menselijke activiteiten op het Stelsel Aarde. Tot op heden gebeurt dat niet of nauwelijks. Om dat besef te vergroten, zullen aardweten-

schappelijke kennis en inzichten al vanaf de basisschool aandacht moeten krijgen. *Ontwikkelen van geschikte leerlijnen in samenspraak met het Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap (KNAG) is hiervoor de aangewezen weg.*

- Vergroten van de betrokkenheid van de samenleving. Niet alleen voor Aardwetenschappen, maar voor alle bètawetenschappen geldt dat een grotere interesse en betrokkenheid van de samenleving de bijdrage van wetenschappelijk onderzoek aan het oplossen van maatschappelijke problemen effectiever maakt.

Benodigde middelen

Voor het uitvoeren van de *Agenda 2020: Visie op het aardwetenschappelijke wetenschapsveld* zijn er structureel substantiële extra bedragen nodig voor de eerste (via de universiteiten) en tweede geldstroom (via het gebied Aard- en Levenswetenschappen van NWO). Daarnaast is er in de periode van 2011 tot 2015 eenmalig een bedrag nodig in de orde van grootte van M€ 20 om te kunnen investeren in 'grote faciliteiten', waaronder faciliteiten die deel uitmaken van het European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI). Het gaat hierbij om onder andere Europese initiatieven waarin Nederlandse onderzoekers trekkers of zeer belangrijke partners zijn en die in Europees verband in voorbereidende fase zitten, zoals het geval is voor EPOS en ICOS.

Implementatie

Het wordt aanbevolen om aan dit rapport een concreet vervolg te geven door diverse punten nader te laten uitwerken door een door de minister van OCW in te stellen werkgroep die in samenwerking met de stakeholders een concreet uitvoeringsplan opstelt. Dit naar analogie van de 'Commissie Breimer' voor de implementatie van het Sectorplan Natuur- en Scheikunde.

BIJLAGE 1

SAMENSTELLING VAN DE WERKGROEP

Als leden van de werkgroep Agenda 2020: Visie op het aardwetenschappelijke wetenschapsveld werden op persoonlijke titel benoemd:

- Prof. dr. P.A.M. Andriessen, (voorzitter) hoogleraar Vrije Universiteit
- Prof. dr. ir. J. Bouma, emeritus hoogleraar Wageningen Universiteit
- Dr. M.J. van Bracht, directeur TNO Geologische Dienst Nederland
- Prof. dr. C.H.R. Heip, directeur NIOO-Centrum voor Estuariene en Mariene Ecologie en Koninklijk Nederlands Instituut voor Zeeonderzoek, en hoogleraar Rijksuniversiteit Groningen
- Prof. drs. M.A. Herber, hoogleraar Rijksuniversiteit Groningen
- Prof. dr. A.A.M. Holtslag, hoogleraar Wageningen Universiteit
- Mw. prof. dr. S.J.M.H. Hulscher, hoogleraar Universiteit Twente
- Prof. dr. S.M. Luthi, hoogleraar Technische Universiteit Delft
- Prof. dr. W.P.M. de Ruijter, hoogleraar Universiteit Utrecht
- Dr. A. Sluijs, universitair docent Universiteit Utrecht
- Dr. H. Speelman, projectdirecteur Vernieuwing Publieke Kennisinstructuur, bestuurslid Waddenacademie KNAW
- Dr. W. van Westrenen, universitair docent Vrije Universiteit
- Prof. dr. M.J.R. Wortel, hoogleraar Universiteit Utrecht

Mw. drs. L.A. Groen, Afdeling Advies en Verkenning, Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, heeft deze werkgroep als secretaris ondersteund.

Ir. J.H.R.M. van Kasteren, freelance wetenschapsjournalist, heeft de tekst geredigeerd.

BIJLAGE 2

DEELNEMERS EXPERT MEETINGS

Expert Meeting 'Atmosfeer' op 15 september 2009

Naam

prof. dr. P.A.M. Andriessen
prof. dr. ir. H.J.W. de Baar

prof. dr. ir. P.J.H. Builtjes
dr. ir. H.A.C. Denier van der Gon
prof. dr. ir. J.W. Erisman
dr. G. Ganssen
prof. dr. ir. R.F. Hanssen
dr. ir. W. Hazeleger
prof. dr. A.A.M. Holtslag
prof. dr. B.J.J.M. van den Hurk
mw. dr. C.A. Katsman
dr. L.J. Lourens
dr. ir. E.W. Meijer
dr. H. Renssen
prof. dr. T. Röckmann
prof. dr. W.P.M. de Ruijter
dr. M. Schaap
dr. ir. E.J.O. Schrama
dr. A.M. Selig
dr. A. Sluijs

Organisatie

Vrije Universiteit
Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee en
Rijksuniversiteit Groningen
TNO Geologische Dienst Nederland
TNO Geologische Dienst Nederland
Energieonderzoek Centrum Nederland
Vrije Universiteit
Technische Universiteit Delft
Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
Wageningen Universiteit
Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
Universiteit Utrecht
TNO Geologische Dienst Nederland
Vrije Universiteit
Universiteit Utrecht
Universiteit Utrecht
TNO Geologische Dienst Nederland
Technische Universiteit Delft en SRON
Stichting Ruimte-Onderzoek Nederland
Universiteit Utrecht

dr. H. Speelman	Vernieuwing Publieke Kennisinfrastructuur en Waddenacademie
prof. dr. ir. R. Uijlenhoet	Wageningen Universiteit
dr. R.S.W. van de Wal	Universiteit Utrecht

Expert Meeting 'Ondiepe geosfeer' op 22 september 2009

Naam	Organisatie
prof. dr. P.A.M. Andriessen	Vrije Universiteit
prof. dr. ir. R.J. Arts	TNO Geologische Dienst Nederland
dr. ir. P.S. Bindraban	ISRIC World Soil Information
prof. ir. J.W. Bosch	Technische Universiteit Delft en Noord-Zuidlijn
ir. A. Bosma	Provincie Zuid-Holland
prof. dr. ir. J. Bouma	Wageningen Universiteit
dr. M.J. Brolsma	Panterra Consultancy
prof. dr. ir. N.C. van de Giesen	Technische Universiteit Delft
dr. ir. T.J. Heimovaara	Technische Universiteit Delft
Prof. drs. M.A. Herber	Rijksuniversiteit Groningen
prof. dr. B. Jansen	Universiteit van Amsterdam
prof. dr. ir. J.D. Jansen	Technische Universiteit Delft en Shell
drs. P. Jongerius	Ministerie van Economische Zaken
prof. dr. S.M. Luthi	Technische Universiteit Delft
dr. M.J. van der Meulen	TNO Geologische Dienst Nederland
prof. dr. H. Middelkoop	Universiteit Utrecht
prof. dr. W.H. van Riemsdijk	Wageningen Universiteit
prof. dr. J.W.M. Roebroeks	Universiteit Leiden
Prof. dr. P.C. de Ruiter	Wageningen Universiteit
dr. B. Scheffers	Energie Beheer Nederland
dr. J. Verbeek	Nederlandse Aardolie Maatschappij
prof. dr. J.D.A.M. van Wees	Vrije Universiteit en TNO Geologische Dienst Nederland
dr. W. van Westrenen	Vrije Universiteit

Expert Meeting 'Hydrosfeer' op 25 september 2009

Naam	Organisatie
prof. dr. P.A.M. Andriessen	Vrije Universiteit
prof. dr. ir. M.F.P. Bierkens	Universiteit Utrecht
prof. dr. L.A. Bruijnzeel	Vrije Universiteit
dr. G.J.A. Brummer	Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee en Vrije Universiteit
prof. dr. W.P. Cofino	Wageningen Universiteit
dr. ir. F.C. van Geer	Universiteit Utrecht en TNO Geologische Dienst Nederland
dr. ir. W. Hazeleger	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

prof. dr. C.H.R. Heip	Nederlands Instituut voor Ecologie en Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee
prof. dr. P. Kabat	Wageningen Universiteit en Waddenacademie
prof. dr. R. Laane	Deltares/Universiteit van Amsterdam
prof. dr. J.J.B.M. Middelburg	Nederlands Instituut voor Ecologie en Universiteit Utrecht
prof. dr. ir. H. Ridderinkhof	Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee
prof. dr. ir. H.H.G. Savenije	Technische Universiteit Delft
prof. dr. R.J. Schotting	Universiteit Utrecht
prof. dr. P.J. Stuyfzand	Vrije Universiteit en KWR Watercycle Research Institute
prof. dr. ir. R. Uijlenhoet	Wageningen Universiteit
prof. dr. M.J.R. Wortel	Universiteit Utrecht

Expert Meeting ‘Diepe geosfeer’ op 29 september 2009

Naam

prof. dr. P.A.M. Andriessen
 dr. M.J. van Bergen
 dr. G. Bertotti
 dr. J.H.P. de Bresser
 prof. dr. G.R. Davies
 dr. B. Dost
 dr. R.M.A. Govers
 prof. dr. W. Spakman
 dr. H. Speelman
 prof. dr. C.J. Spiers
 prof. dr. J.A. Trampert
 dr. W. van Westrenen
 dr. E. Willingshofer
 prof. dr. M.J.R. Wortel
 mw. dr. R. Zoetemeijer

Organisatie

Vrije Universiteit
 Universiteit Utrecht
 Vrije Universiteit
 Universiteit Utrecht
 Vrije Universiteit
 Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
 Universiteit Utrecht
 Universiteit Utrecht
 Vernieuwing Publieke Kennisinfrastructuur en Waddenacademie
 Universiteit Utrecht
 Universiteit Utrecht
 Vrije Universiteit
 Vrije Universiteit
 Universiteit Utrecht
 Vrije Universiteit

BIJLAGE 3

FINANCIËLE OMZET NIET UNIVERSITAIRE INSTELLINGEN

Het is niet eenvoudig om precieze bedragen te geven voor de omzet in instituten voor alleen Aardwetenschappen en daarom volstaan we voor het rapport met de best mogelijke schattingen. Voor mogelijke investeringen (naast die van de universiteiten) lijkt het verstandig een onderscheid te maken tussen NIOO en NIOZ, die grotendeels fundamenteel wetenschappelijk werk doen, en de toegepast-wetenschappelijke onderzoeksinstituten zoals Alterra, Deltares, KNMI en TNO.

Instituut	Geschatte omzet, voor zover relevant (M€)*
Alterra	60
Deltares	60
KNMI	50
TNO	60
Overige**	35
Totaal	265

* contract research, toegepast onderzoek, verdiepend onderzoek in de Aard- en Levenswetenschappen (zoals in de agenda omschreven).

** RIVM, Energie Beheer Nederland (EBN), Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem (SKB), KWR Watercycle Research Institute, waterbedrijven

De gecombineerde omzet van NIOO en NIOZ is ongeveer 35 M€, waardoor een volume van ongeveer 300 M€ ontstaat.

BIJLAGE 4

LIJST VAN GEBRUIKTE AFKORTINGEN

ALW	Aard- en Levenswetenschappen
ASTRON	Astronomisch Onderzoek in Nederland
BRIC	Brazilië, Rusland, India en China
BSIK	Besluit Subsidies Investerings Kennisinfrastructuur
CESAR	Cabauw Experimental Site for Atmospheric Research
EBN	Energie Beheer Nederland
ECN	Energieonderzoek Centrum Nederland
EERA	European Energy Research Alliance
EPOS	European Plate Observing System
ESA	European Space Agency
ESFRI	European Strategy Forum on Research Infrastructures
ICOS	Integrated Carbon Observation System
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISES	Netherlands Research Centre for Integrated Solid Earth Science
ITC	International Training Centre
KNAG	Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap
KNAW	Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
LOFAR	Low Frequency Array
NIOO	Nederlands Instituut voor Ecologie
NIOZ	Nederlands Instituut voor Zeeonderzoek
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NOWT	Nederlandse Observatorium van Wetenschap en Technologie
NWO	Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek

OCW	Onderwijs, Cultuur en Wetenschap
PBL	Planbureau voor de Leefomgeving
QANU	Quality Assurance Netherlands Universities
RAL	Raad voor Aard- en Levenswetenschappen
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RUG	Rijksuniversiteit Groningen
RUN	Radboud Universiteit Nijmegen
SKB	Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem
SRON	Stichting Ruimte-Onderzoek Nederland
TU Delft	Technische Universiteit Delft
TUE	Technische Universiteit Eindhoven
UL	Universiteit Leiden
UNESCO-IHE	Institute for Water Education
UTwente	Universiteit Twente
UU	Universiteit Utrecht
UvA	Universiteit van Amsterdam
VSNU	Vereniging van Universiteiten
VU	Vrije Universiteit Amsterdam
WKO	Warmte Koude Opslag
WUR	Wageningen Universiteit en Research Centre
QANU	Quality Assurance Netherlands Universities

