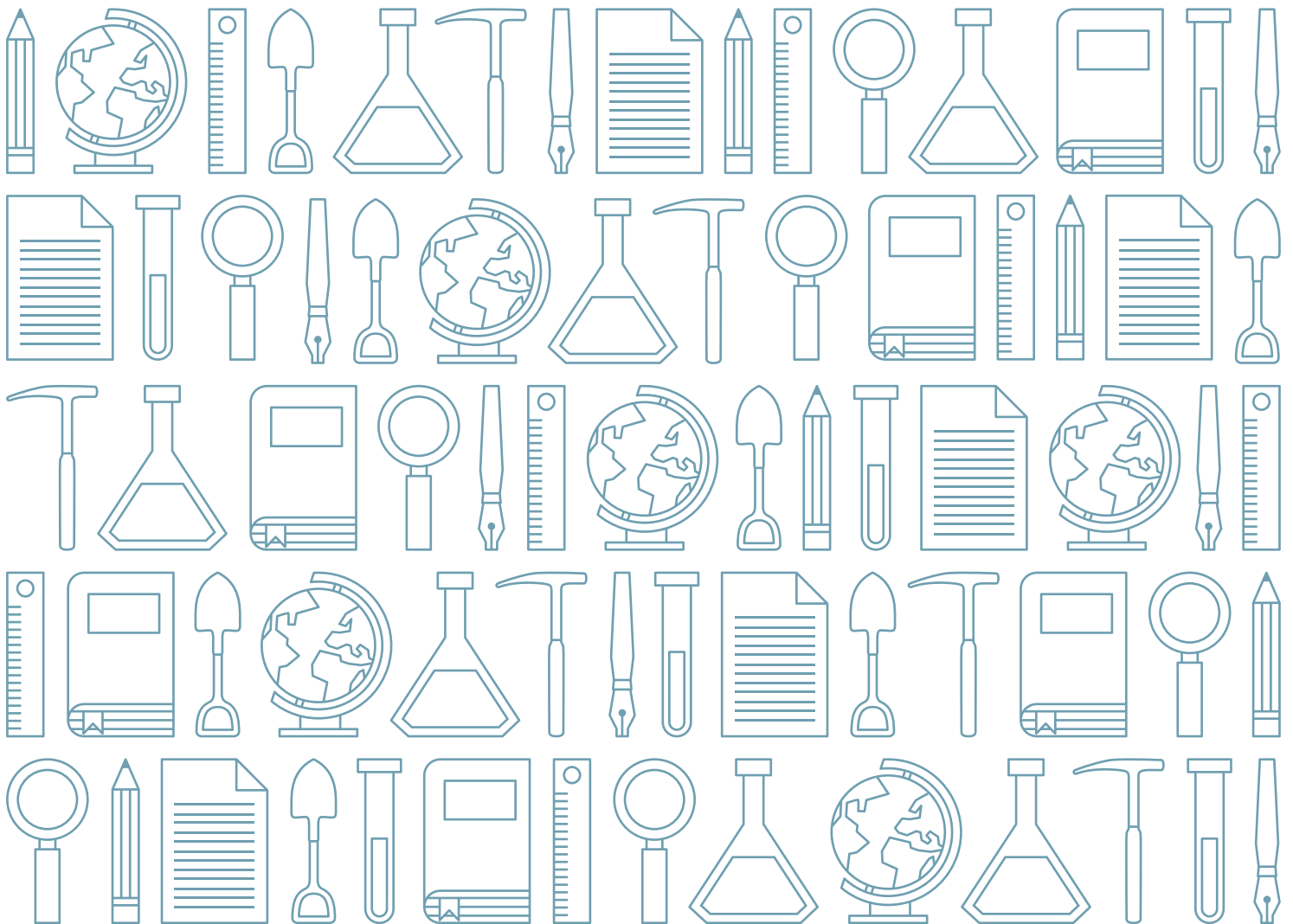
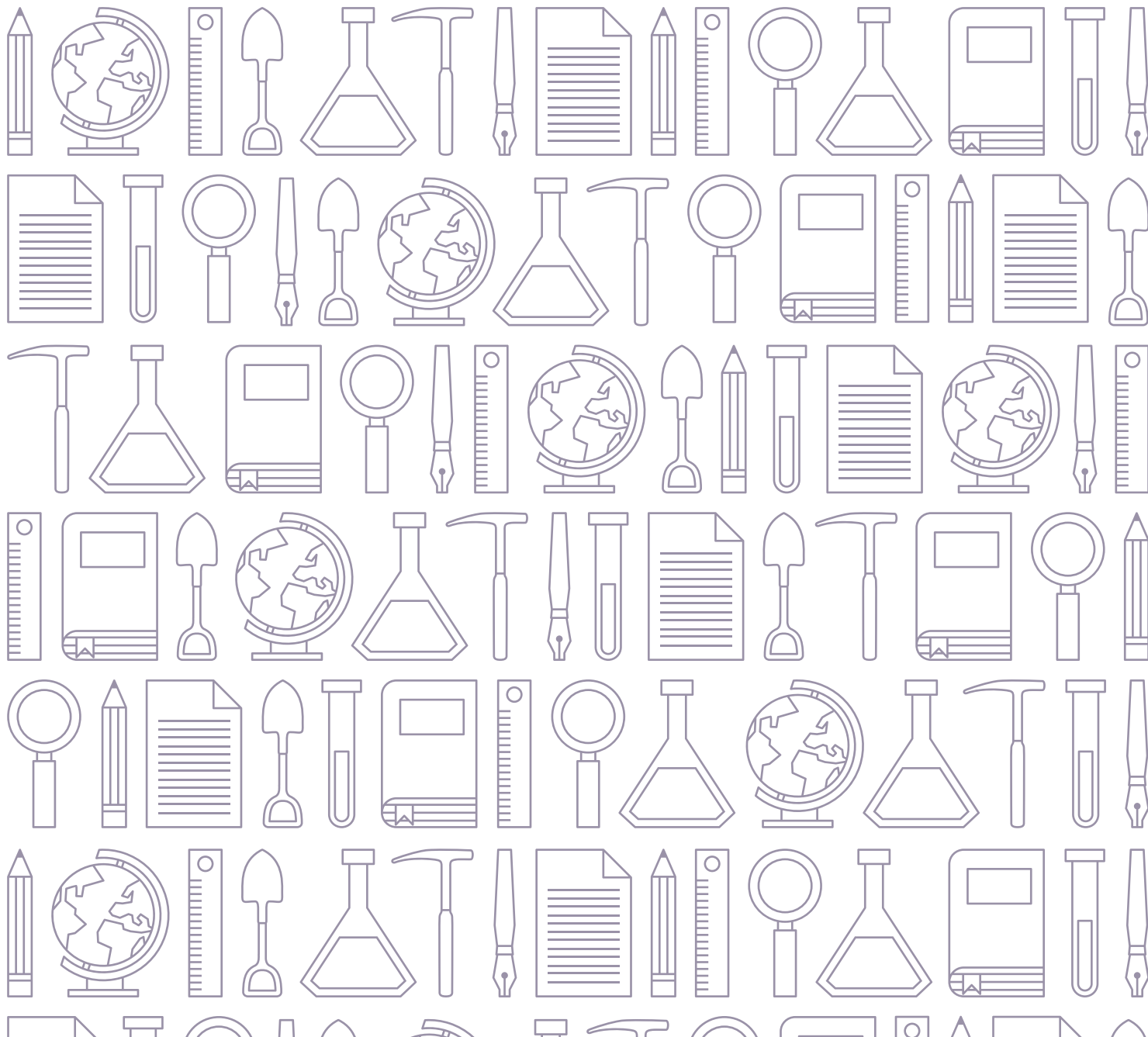


UITVOERINGSPLAN |

AGENDA 2020 |





Colofon

Redactie: Dr. P.J.F. Bogaard, Beleidsmedewerker
Geologische Dienst van Nederland – TNO

Bijdragen aan het stuk zijn geleverd door: Prof. Dr. Paul Andriessen (VSNU, KNAW), Dr. Mart van Bracht (TNO), Prof. Dr. Giovanni Bertotti (TU Delft); Prof. Dr. Rob Comans (WUR); Dr. Erik Cammeraat (UvA), Prof. Dr. Jacob Fokkema (NWO), Dr. Gerald Ganssen (VU), Prof. Dr. Ir. Bert Geerken (TUDelft), Prof. Dr. Rien Herber (RUG), Prof. Dr. Piet Hoekstra (UU), Prof. Dr. Karsten Kalbitz (UvA), Prof. Dr. Freek van der Meer (UTwente), Prof. Dr. Jack Middelburg (UU), Dr. Arian Steenbruggen (WUR), Prof. Dr. Peter van Tienderen (UvA/VU), Prof. Dr. Ton Veldkamp (UTwente).

Deels gebaseerd op interviews met: Dirk Smit (Shell Chief Scientist Geophysics), Jan Bout (vh o.a. Boegbeeld Topsector water), Ipo Ritsema (Directeur Geotechnical Engineering, Deltares), Roeland Allewijn (Directeur Veiligheid en Water, Rijkswaterstaat), Wim van Saarloos (vh. Directeur FOM)



INHOUDSOPGAVE

1. Management Summary	2
2. Inleiding	4
2.1. Sense of Urgency: Belang van de Aardwetenschappen voor de maatschappij	4
2.2. Totstandkoming van het uitvoeringsplan Agenda 2020	6
2.3. Scope	6
3. Doelstellingen van het Uitvoeringsplan Agenda 2020	9
3.1. Doelstelling 1: Behoud en versterking van Excellentie	9
3.2. Doelstelling 2: Afstemmen en optimaliseren van bachelor-, master- en PhD opleidingen	10
3.3. Doelstelling 3: Vereenvoudigen van doorstroom van studenten tussen verschillende opleidingen	10
3.4. Doelstelling 4: Focus en Massa en versterken van de nationale afstemming van onderzoek en PhD onderwijs	10
3.5. Doelstelling 5: Aansluiten bij het maatschappelijke veld	11
3.6. Doelstelling 6: Nationale infrastructuur voor aardwetenschappelijk onderzoek	11
4. Versterking van universitair onderwijs en onderzoek	12
4.1. Outreach, studentenwerving, en omgaan met sterk toegenomen instroom	13
4.2. Bacheloropleiding: Brede basis, goede doorstroom, en samenwerken ten behoeve van efficiëntie	14
4.3. Masteropleiding: Verdieping en aansluiting op excellent onderzoek in levensvatbare opleidingen met voldoende massa	17
4.4. PhD traject: Vernieuwing van interuniversitaire afstemming en samenwerking; nationaal platform aardwetenschappen.	18
5. Versterking van Onderzoek: Focus en Massa versus Concurrentie	20
5.1. Analyse	20
5.2. Aanbevelingen	21
6. Versterking van de Infrastructuur	22
7. Conclusies, Aanbevelingen en Implementatie	24
Appendix I Agenda 2020: visie op het Aardwetenschappelijke Wetenschapsveld	26
Appendix II Thema's	28
Thema Schaarste	28
Thema Duurzame Energievoorziening	29
Thema Klimaat en Water	30
Thema Natuurrampen	31
Lijst van gebruikte afkortingen	33

MANAGEMENT SUMMARY

Het uitvoeringsplan Agenda 2020 heeft tot doel om concrete invulling te geven aan het rapport “Agenda 2020, visie op het Aardwetenschappelijke Wetenschapsveld” dat medio 2011 is opgesteld onder auspiciën van de Raad voor Aard- en Levenswetenschappen (RAL-KNAW). In dit rapport worden een aantal aanbevelingen gedaan voor de versterking van het aardwetenschappelijk onderwijs en onderzoek en van de onderzoeks-infrastructuur (zie Appendix A voor een samenvatting). In 2012/2013 is een eerste versie van dit uitvoeringsplan uitgewerkt door de “Commissie Aardwetenschappen 2020” (van Bracht, Andriessen, Fokkema, Bogaard), met ondersteuning door het Ministerie van OCW. Deze commissie heeft daarbij met name de vraag naar aardwetenschappelijke kennis en specialisten vanuit het maatschappelijk veld centraal gesteld (in plaats van de blik vanuit het academische veld die in de Agenda 2020 centraal stond). Daartoe zijn het bedrijfsleven – door middel van gerichte bezoeken aan enkele belangrijke sleutelfiguren – en de decanen van de betrokken faculteiten geraadpleegd.

Een eerste versie van het Uitvoeringsplan is in 2013 voorgelegd aan het ministerie van OCW en de decanen van de betrokken faculteiten. Deze laatste groep heeft bij die gelegenheid aangegeven behoefte te hebben aan een sterkere inbreng in het definitieve rapport vanuit de universiteiten zelf. Daarop heeft een werkgroep bestaande uit leden aangewezen door de universiteiten (Bertotti (TUD), Ganssen (VUA), Middelburg (UU), Kalbitz/Cammeraat (UvA), van der Meer/Veldkamp (TUTwente), Comans (WUR), van Bracht, Bogaard) een volgende versie van het stuk opgeleverd. Dit is het rapport dat nu voor u ligt. Dit document vormt in feite een werkdocument en biedt achtergrondinformatie over verschillende aspecten van de aardwetenschappen in Nederland. In aanvulling op dit document is een kerndocument vervaardigd dat in korte en krachtige bewoordingen de ambities van de

aardwetenschappen weergeeft, onze gezamenlijke plannen tot de vorming van een platform tot uitdrukking brengt en de infrastructuur schetst die in Nederland nodig is om onze ambities te kunnen verwezenlijken.

Dit werkdocument definieert een zestal doelstellingen, en doet een aantal concrete aanbevelingen om aan deze doelstellingen vorm te geven. De doelstellingen en de belangrijkste aanbevelingen zijn:

Doelstelling 1

BEHOUD EN VERSTERKING VAN EXCELLENTIE EN DE HUIDIGE POSITIE IN HET INTERNATIONALE ONDERZOEKSVELD;

Belangrijkste Aanbevelingen: vergroot de ruimte voor ongebonden wetenschappelijk onderzoek (open competitie) in de aardwetenschappen.

Doelstelling 2

BACHELOR-, MASTER-, EN PHD OPLEIDINGEN ZO IN RICHTEN DAT ZE IN KWALITATIEF HOOGWAARDIG ONDERWIJS EN ONDERZOEK KUNNEN BLIJVEN VOORZIEN, AANTREKKELIJK BLIJVEN VOOR DE STUDENT (MINIMAAL BESTENDIGEN VAN DE HUIDIGE INSTROOM), EN VOLDOEN AAN DE EISEN DIE HET WERKGEVENDE VELD STELT, DAARBIJ ZO EFFICIËNT MOGELIJK GEBRUIK MAKEND VAN DE BEPERKT BESCHIKBARE MIDDELEN;

Belangrijkste Aanbevelingen: Versterk samenwerking binnen het hele aardwetenschappelijke veld met betrekking tot outreach-activiteiten, en reserveer hiervoor tijd van onderzoekers en middelen in onderzoeksprojecten; besteed aandacht aan werving van buitenlandse studenten; voorkom witte vlekken in het aardwetenschappelijk onderwijs; zorg voor een balans tussen klassieke aardwetenschappelijke bachelors, en technische aardwetenschappelijke bachelors en brede bachelors met een aardwetenschappelijke component; zorg binnen de Mastersopleidingen voor een goede balans tussen breedte, diepte en efficiëntie; biedt specialistische cursussen gezamenlijk aan en/of optimaliseer de mogelijkheden voor studenten om dergelijke cursussen elders te volgen.

Doelstelling 3

VEREENVOUDIGEN VAN DOORSTROOM VAN STUDENTEN TUSSEN VERSCHILLENDE OPLEIDINGEN;

Belangrijkste Aanbevelingen: Ontwikkel Minoren die de instroom in aardwetenschappelijke Masteropleidingen van aardwetenschappen-studenten van andere universiteiten, of van studenten uit aanpalende studies, kunnen faciliteren; Zorg voor duidelijkheid over (zij-)instroomeisen in de Master, ook voor buitenlandse studenten, en voor goede ondersteuning om hieraan te voldoen.

Doelstelling 4

VERSTERKEN VAN DE AFSTEMMING VAN HET ONDERZOEK EN HET HIERBIJ BETROKKEN MASTER EN PHD-ONDERWIJS OP NATIONAAL NIVEAU;

Belangrijkste Aanbevelingen: Onderzoek de mogelijkheid voor het creëren van één nationaal onderzoeksplatform in de aardwetenschappen dat zorgdraagt voor oa het faciliteren van zij-instroom in de Masters, verzorgen van specialistische inhoudelijke cursussen, signaleren en voorkomen van witte vlekken in onderwijs en onderzoek, en profilering van het onderzoeksveld naar de buitenwereld.

Doelstelling 5

VERBETEREN VAN ONDERZOEK EN DE OPLEIDINGEN DOOR VERSTERKING VAN DE AANSLUITING BIJ HET MAATSCHAPPELIJKE VELD;

Belangrijkste Aanbevelingen: Zoek naar concrete oplossingen voor ontstane witte vlekken, samen met onderzoeksinstituten en het bedrijfsleven; geef het nationale platform Aardwetenschappen een belangrijke rol in het positioneren van aardwetenschappen in het onderzoeksbeleid, zoals de topsectoren en de lobby naar Horizon 2020.

Doelstelling 6

STIMULEREN VAN NATIONALE AFSTEMMING VOOR DE ONTWIKKELING VAN HOOGWAARDIGE AARDWETENSCHAPPELIJKE ONDERZOEKSINFRASTRUCTUUR.

Belangrijkste Aanbevelingen: Stel een “nationale roadmap voor aardwetenschappelijke infrastructuur” op, in samenwerking met onderzoeksinstituten en het bedrijfsleven, en stel een businessplan op voor de wederzijdse toegankelijkheid tot analytische en experimentele apparatuur, observatoria, meetreeksen en software.



INLEIDING

2.1. Sense of Urgency: Belang van de Aardwetenschappen voor de maatschappij

De Aardwetenschappen richten zich op het begrijpen van het Systeem Aarde; dat wil zeggen de fysieke processen die binnen en tussen de verschillende sferen (Figuur 1) van dat systeem plaatsvinden in de ruimte en de tijd.

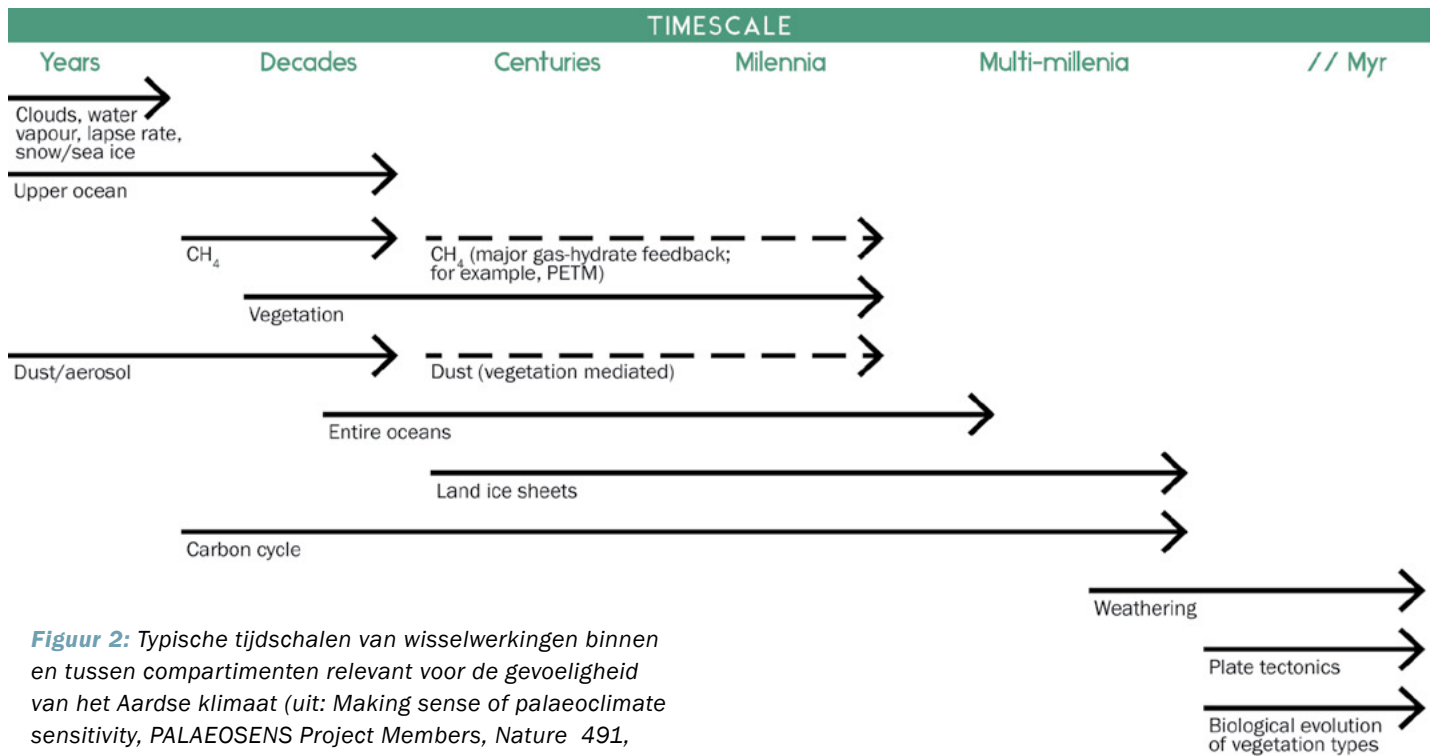


Figuur 1: De sferen binnen het Systeem Aarde. Het zwaartepunt van het aardwetenschappelijk onderzoek ligt in de lithosfeer - de ondergrond - en de wisselwerking van de overige sferen van het systeem met de ondergrond.

De bestudering van het Systeem Aarde leert ons dat ervaringen en waarnemingen die worden opgedaan vanuit onze nabije belevenis (intellectueel, geografisch en in de tijd) niet automatisch kunnen worden geëxtrapoleerd om daaruit conclusies te trekken over hoe met elkaar verbonden systemen werken. Laat staan dat het hiermee mogelijk is geloofwaardige uitspraken te doen over mondiale veranderingen op de lange en korte termijn, of hun lokale impact in ruimte en tijd. Betrouwbare uitspraken hierover zijn alleen mogelijk door waarnemingen over een verscheidenheid aan ruimte- en tijd schalen, en over de grenzen van traditionele disciplines heen, aan elkaar te koppelen. De variëteit aan ruimte- en tijdschalen waarop processen en hun uitwerkingen zich afspelen in het natuurlijke Systeem Aarde is verbazingwekkend groot (Figuur 2).

De grote vraag waarvoor de moderne aardwetenschappen gesteld staan is het begrijpen van het Systeem Aarde, onze planeet, en de uitwerking daarop van menselijk handelen, dat (te) veel compartimenten onder druk zet en uit evenwicht brengt. Hoe veerkrachtig is elk compartiment en op welke schaal, hoe groot is de incasseringcapaciteit van het systeem? Wat zijn de gevolgen van veranderingen in het systeem op lokale schaal in ruimte en tijd? En wat voor mogelijkheden zijn er om schadelijke gevolgen te voorkomen, en toch te blijven voorzien in de behoefte van de wereldbevolking aan voldoende voedsel, water, energie, grondstoffen en ruimte? Dit zijn de grote mondiale uitdagingen waarmee aardwetenschappers zich bezig houden.

Deze uitdagingen kunnen niet worden opgelost zonder gedetailleerde informatie vanuit disciplines als biologie, chemie, natuurkunde, wiskunde, technische wetenschappen, economie, sociologie enz. De bestudering van het Systeem Aarde vraagt om een systeem georiënteerde aanpak die excellent en hoogwaardig onderzoek uit al deze disciplines integreert. Door de groeiende bevolking en welvaart worden mens en maatschappij in toenemende mate geconfronteerd met een tekort aan grondstoffen, energie, water, ecosysteemdiensten en ruimte. Grondstoffen gewonnen uit de ondergrond vormen een onmisbare bouwsteen voor de welvaart en het welzijn van de wereldbevolking. Tegelijkertijd heeft de winning van grondstoffen en energie vaak een forse impact op het landschap, het milieu en – zoals recent weer bleek door de aardbevingen als gevolg van de gaswinning in Groningen – op de veiligheid. Water verbruik door landbouw, industrie en steden heeft op diverse plaatsen tot een tekort aan water van hoge kwaliteit geleid. Stijgende CO₂ concentraties in de atmosfeer als gevolg van de verbranding van fossiele brandstoffen leiden tot een snelle verandering van het klimaat, stijgende zeespiegels en verzurende oceanen. Toenemende urbanisatie zorgt voor een steeds grotere concentratie van de bevolking en van kwetsbare infrastructuur. Hierdoor wordt ook de kwetsbaarheid voor natuurrampen, zoals aardbevingen, vulkaanuitbarstingen, tsunami's, landslides en overstromingen steeds groter. De kennis- en technologie-ontwikkeling die nodig is om



Figuur 2: Typische tijdschalen van wisselwerkingen binnen en tussen compartimenten relevant voor de gevoeligheid van het Aardse klimaat (uit: *Making sense of palaeoclimate sensitivity*, PALAEOSENS Project Members, *Nature* 491, 683–691 (29 November 2012) doi:10.1038/nature11574).

deze socio-economische en politieke probleemstellingen op globale schaal aan te pakken, vraagt dus om een geïntegreerde benadering zonder verlies van diepgaande disciplinaire kennis.

Deze conclusies worden breed gedeeld, zoals blijkt uit recente verkenningen door de Amerikaanse National Science Foundation, de Britse Natural Environmental Research Council en de International Council for Science, evenals uit de toegenomen en meer expliciete aandacht voor aardwetenschappen in Horizon 2020, het nieuwe Europese kaderprogramma voor onderzoek en ontwikkeling.

Het Aardwetenschappelijk onderzoek in Nederland - hoewel met 7 (deel-)faculteiten bescheiden in omvang - heeft een sterke traditie en een uitstekende internationale positie en reputatie, zoals blijkt uit recente, onafhankelijke beoordelingen, en scientometrische analyses. De aardwetenschappelijke opleidingen mogen zich ook verheugen in een toenemende belangstelling en in de afgelopen 10 jaar is het aantal studenten meer dan verdubbeld.

De Nederlandse Aardwetenschappen zijn er in het verleden, mede door bundeling van krachten tussen universiteiten en kennisinstututen, in geslaagd om het vakgebied zowel nationaal als internationaal goed te positioneren. Aansprekende voorbeelden hiervan zijn de toponderzoekschool ISES (Netherlands Research Centre for Integrated Solid Earth Science), het Darwin Center for Biogeosciences, het recente toegekende Zwaartekracht programma Netherlands Earth System Science Center

(NESSC), en een aantal interuniversitaire onderzoekscholen die al vele jaren actief zijn.

Het belang van dergelijke interuniversitaire platformen is echter in de laatste jaren afgenomen, mede door de versterkte profilering van universiteiten in het kader van de Strategische Agenda Hoger Onderwijs en door de oprichting van intra-universitaire graduate schools. Deze graduate schools vervullen een belangrijke rol in het stimuleren van interdisciplinaire samenwerkingen binnen universiteiten, en in het onderwijs van zgn. “transferable skills”. Maar ze kunnen de rol die onderzoekscholen hadden in de afstemming van onderzoek en onderwijs tussen de universiteiten, slechts ten dele vervangen. Door de toenemende druk op de financiering van het onderzoek, en de gelijktijdige toename van de studentenaantallen, wordt de meerwaarde van een dergelijke afstemming echter alleen maar groter.

In 2011 bracht de KNAW het rapport Agenda 2020: Visie op het Aardwetenschappelijk wetenschapsveld uit. De Agenda 2020 vraagt aandacht voor enkele belangrijke uitdagingen waarmee de Nederlandse Aardwetenschappen de komende jaren worden geconfronteerd (zie **Appendix A** voor een samenvatting).

Aardwetenschappelijke kennis is dus van belang voor grote maatschappelijke uitdagingen, maar biedt ook grote kansen voor de Nederlandse maatschappij en bedrijven. Er is een aantal sterke industriële takken in Nederland die aardwetenschappers nodig hebben: uiteraard de olie- en gasindustrie, maar ook ingenieursbureau's die wereldwijd

grootschalige, klimaatbestendige projecten uitvoeren (New Orleans, New York), alsmede op Nederland gerichte instellingen uit de overheid en private sector, die deels met universitaire instituten samenwerken (TNO, Deltares, Alterra, Planbureau voor de Leefomgeving, Rijkswaterstaat, RIVM, etc.).

2.2. Totstandkoming van het uitvoeringsplan Agenda 2020

Directe aanleiding voor het opstellen van het uitvoeringsplan Agenda 2020 is het KNAW rapport “Agenda 2020, visie op het Aardwetenschappelijke Wetenschapsveld” van medio 2011. Dit rapport, voorbereid door een breed samengestelde werkgroep onder auspiciën van de Raad voor Aard- en Levenswetenschappen (RAL-KNAW), biedt een visie op de wegen die we in Nederland de komende periode zouden moeten bewandelen op het terrein van de aardwetenschappen. In dit rapport worden een aantal aanbevelingen gedaan voor de versterking van het aardwetenschappelijk onderwijs en onderzoek en van de onderzoeks-infrastructuur (zie **Appendix A** voor een samenvatting).

In 2012 is de “Commissie Aardwetenschappen 2020” (van Bracht, Andriessen, Fokkema, Bogaard), ondersteund door een subsidie van het Ministerie van OCW, aan de slag gegaan om deze aanbevelingen verder uit te werken tot concrete actiepunten. Daarbij heeft de commissie zich met name ten doel gesteld de vraag naar aardwetenschappelijke kennis en specialisten vanuit het maatschappelijk veld centraal te stellen (in plaats van de blik vanuit het academische veld die in de Agenda 2020 meer centraal heeft gestaan). Daartoe zijn het bedrijfsleven – door middel van gerichte bezoeken aan enkele belangrijke sleutelfiguren – en de decanen van de betrokken faculteiten geraadpleegd. Een eerste versie van het Uitvoeringsplan is in 2013 voorgelegd aan het ministerie van OCW en de decanen van de betrokken faculteiten. Deze laatste groep heeft bij die gelegenheid aangegeven behoefte te hebben aan een sterkere inbreng in het definitieve rapport vanuit de universiteiten zelf. Daarop heeft een werkgroep bestaande uit leden aangewezen door de universiteiten (Bertotti (TUD), Ganssen (VUA), Middelburg (UU), Kalbitz/Cammeraat (UvA), van der Meer/Veldkamp (TUTwente), Comans (WUR), van Bracht, Bogaard) een volgende versie van het stuk opgeleverd. Dit is het werkdocument dat nu voor u ligt.

Bij de subsidieverlening aan de Commissie Agenda 2020 heeft het ministerie van OCW nadrukkelijk gesteld dat het uitvoeringsplan op dient te worden gesteld in nauwe samenhang met het topsectorenbeleid en met het opstellen van instellingsprofielen en prestatieafspraken door de universiteiten, in het kader van de “Strategische Agenda Hoger Onderwijs”. In een in Januari 2013 uitgebracht rapport houdt de KNAW dit beleid kritisch onder de loep. In dit rapport wordt de conclusie getrokken dat met name kleinere disciplines, die alleen op landelijk niveau een voldoende schaal hebben, door de versterkte profilering

van universiteiten juist verzwakt dreigen te worden. De KNAW bepleit daarom om voor deze disciplines (waaronder de aardwetenschappen), in navolging van de plannen voor natuurkunde en scheikunde uit 2007, sectorplannen op te stellen.

De realisering van de doelstellingen van het uitvoeringsplan, en met name van de versterking van universitaire groepen, focusering van onderzoek en onderwijs, en het delen van infrastructuur, zal zich over meerdere jaren uitstrekken. De in dit plan voorgestelde werkwijze geeft daarbij zowel ruimte aan de universiteiten om zelf invulling te geven aan de plannen, als aan de wens tot versterking van de aardwetenschappen door nationale coördinatie. Ons inziens is hier een nationaal aardwetenschappelijk platform dat door alle betrokkenen ondersteund wordt het meest geschikte forum. Hierbij staat de belangrijke wisselwerking tussen onderzoek en onderwijs, op alle opleidingsniveau's (Bachelor, Master, PhD) centraal. Een dergelijk platform kan daarbij ook dienen als belangrijk aanspreekpunt voor instituties buiten de betrokken universiteiten.

Deze samenhang wordt verder besproken in **Hoofdstuk 3** van dit uitvoeringsplan.

2.3. Scope

Zoals in de inleiding gesteld, richten de Aardwetenschappen zich op het begrijpen van het Systeem Aarde, en de potentiële gevolgen van menselijk ingrijpen hierop, in ruimte en tijd. Het is een werkelijk interdisciplinair vakgebied dat vele wetenschappelijke disciplines omvat en verbindt. De Aardwetenschappen bestuderen de fysische, chemische en biologische processen die vandaag de dag actief een rol spelen in de vaste aarde, de hydrosfeer, de cryosfeer en de atmosfeer, op alle schalen en van de kern van de aarde tot aan de zon (**Figuur 3**). Ze bestuderen de sporen die deze processen hebben achtergelaten in de geologische record, en informeren daarmee ons begrip van de geschiedenis van de Aarde. Tegelijkertijd vatten aardwetenschappers deze observaties in modellen en interpretaties waarmee getracht wordt voorspellingen te doen over de ontwikkeling van onze planeet in ruimte en tijd. Daarbij is het in toenemende mate mogelijk om de gecombineerde uitwerking van processen die spelen op ruimteschalen van sub-mm tot het volledige zonnestelsel, en tijdschalen van seconden tot miljoenen jaren, op menselijke tijd- en ruimteschaal te voorspellen. Ook bij onderzoek aan andere planeten en hemellichamen binnen ons zonnestelsel spelen aardwetenschappers een belangrijke rol. Daarbij kunnen we onze kennis van aardse processen benutten als proxies voor het begrijpen van andere planeten, en leert de heel andere uitwerking van geologische processen op andere planeten ons over het speciale karakter van de Aarde.

De aardwetenschappen hebben een sterke verankering in de natuurkunde, scheikunde, en biologie, en hebben veel en nauwe relaties met aanpalende vakgebieden zoals oceanografie, archeologie, onderzoek aan de atmosfeer,

materiaalwetenschappen, remote sensing, civiele techniek en planetair onderzoek. Ook de verbinding met economische en sociale wetenschappen wordt steeds sterker. Deze sterke interdisciplinariteit en verbondenheid zijn een grote kracht van het vakgebied, en zorgen voor een brede inzetbaarheid van aardwetenschappers in de maatschappij.

Het advies van de Commissie Aardwetenschappen omvat het aardwetenschappelijk vakgebied zoals gedefinieerd in het “domein-specifiek referentiekader” van de VSNU, dat is opgesteld door de kamer Aardwetenschappen en onderwijs directeuren (c.q. hoofden van opleidingen) van de universitaire instellingen met opleidingen in de Aardwetenschappen (zie [kader](#)).

Domein-Specifiek Referentiekader Aardwetenschappen (Bron: VSNU)

“Aardwetenschappen hebben tot object van studie de planeet Aarde, zijn wordingsgeschiedenis en zijn leefbaarheid. In de context van systeem Aarde wordt zowel kennis opgedaan over het ontstaan, de huidige en vroegere samenstelling, structuur, en de processen in en tussen de componenten geosfeer, hydrosfeer, atmosfeer en de biosfeer, als over beheer en duurzaam gebruik van de aarde en de invloed van menselijke activiteit op het aardse systeem. Van belang is dat inzicht wordt verkregen en kennis wordt opgedaan over de zeer uiteenlopende ruimten en tijdschalen waarop deze processen opereren en zich manifesteren. De studie aardwetenschappen combineert in verschillende vormen aspecten van waarneming via veldwerk en aardobservatie (mede vanuit de ruimte), meten (mede vanuit de ruimte) en analyseren van data met behulp van laboratorium methodieken en technieken, en verwerking en opstellen van concepten via modellering en computer simulaties.

Binnen aardwetenschappen is meer aandacht gekomen voor de relatie met de maatschappij. Het maatschappelijke belang van Aardwetenschappen is duidelijk op het gebied van de natuurlijk hulpbronnen energie-grondstoffen-water, het mondiale klimaat, het milieu, en natuurlijke en door de mens geïnduceerde bedreigingen, risico's en rampen. Meer gericht op de Nederlandse situatie is het belang van aardwetenschappelijke kennis onderkend, zoals duidelijk wordt bij het vormgeven van de infrastructuur in ons dicht bevolkte delta en het gebruik en beheer van de ondiepe en diepe ondergrond. Deze ontwikkeling heeft met zich meegebracht dat de oorspronkelijke vraagstelling “wat betekent de Aarde voor de mens?” is aangevuld met een andere vraag “wat betekent de mens voor de Aarde?” Ofwel: Welke rol spelen antropogene factoren in aardse processen en hoe kan deze kennis maatschappelijk worden ingezet en: Welke maatregelen kunnen we treffen om de gevolgen van deze gevaren op te vangen of te beperken.

Recente ontwikkelingen, mede geïnitieerd en gestimuleerd door mogelijkheden op het gebied van IT, in moderne vormen van waarneming, analyses en experimenten, visualisering, simulering en modellering en technologie, naast data-mining, technische data verwerking en data-assimilatie hebben geleid tot een breder en dieper inzicht over de kennis van het functioneren van het systeem aarde en effectiever gebruik en beheer van de Aarde.

Het beoefenen van de wetenschap geschiedt heden ten dage zeker niet meer uitsluitend binnen de grenzen van een discipline. Dat geldt ook voor Aardwetenschappen. In toenemende mate worden in aardwetenschappelijke disciplines elementen geïntegreerd uit met name de natuurkunde, scheikunde, (micro)biologie en toegepaste wiskunde/informatica. Ook het beoefenen van de verschillende aardwetenschappelijke disciplines zelf wordt gekenmerkt door een toenemende integratie en multidisciplinaire samenwerkingen. Dat impliceert teamwork dat de grenzen van de aardwetenschappelijke disciplines overschrijdt. Dit betekent echter niet dat de rol van specialisaties afneemt. Integratie en specialisatie vereisen in combinatie aandacht opdat verdere ontwikkeling mogelijk is. Specialistische verdieping blijft onontbeerlijk om op hoog niveau multidisciplinair onderzoek te kunnen blijven voeren. Evenzeer geldt dat er een goede verbinding noodzakelijk is tussen fundamenteel gerichte aspecten en toegepaste aspecten”.

Het domein-specifieke referentiekader onderscheid vier domeinen binnen de Aardwetenschappen: De Vaste of Diepe Aarde (kern, mantel en lithosfeer), de Oppervlakte (de ondiepe ondergrond tot een maximale diepte van enkele honderden meters, het aardse oppervlak en het onderste deel van de atmosfeer), het domein Biosfeer-Hydrosfeer-Atmosfeer, en de Technische Aardwetenschappen. De reeks van (sub)disciplines geassocieerd met elk domein reikt van geologie, geochemie en geofysica tot klimatologie, landschapsecologie and atmosferische chemie.



DOEL- STELLINGEN VAN HET UITVOERINGS- PLAN AGENDA 2020

Het Uitvoeringsplan Agenda 2020 is gebaseerd op een aantal concrete doelstellingen, die hieronder verder worden uitgewerkt. Allereerst wil de commissie echter wijzen op een verschil in benadering van doelstellingen met betrekking tot onderwijs en onderzoek.

Onderzoek vraagt diepte, onderwijs breedte en diepte. In een academische omgeving zijn onderwijs en onderzoek communicerende vaten waarbij grensverleggend onderzoek een belangrijke “trigger” en inspiratiebron vormt voor het wetenschappelijk onderwijs. Wetenschappelijk medewerkers van universiteiten moeten zich om succesvol fondsen te verwerven onderscheiden in de internationale wetenschappelijke arena. Dit noopt in veel gevallen tot specialisatie van de individuele onderzoeker – enigszins in tegenstelling tot de toenemende interdisciplinariteit van het onderzoeksveld als geheel. Als voorbeeld kan hier het werk van Sinninghe Damsté genoemd worden: een van de meest invloedrijke Nederlandse aardwetenschappers van dit moment (Spinozaprijs 2004, ERC Advanced Grant 2008, Heineken prijs 2014, most productive and most cited author worldwide in the field of sedimentology in the period 2007-2011), met een heel specifiek specialisatiegebied (moleculaire biogeochemie), dat echter een zeer breed toepassingsgebied kent (paleo-climatologie, paleo-milieu..., sedimentologie, genese van hydrocarbons). Ten opzichte van 10 à 20 jaar geleden is het – als gevolg van enerzijds deze trend naar toenemende specialisatie, en anderzijds van toenemende druk op de onderzoeksfinanciering - de taak van een geringer aantal, gemiddeld verder gespecialiseerde aardwetenschappers om toch het volledige palet van de aardwetenschappen te kunnen bestrijken in hun onderwijs. Deze trend zal zich naar verwachting nog enige tijd voortzetten, wat het zoeken naar complementariteit van en samenwerking tussen de verschillende faculteiten op onderwijsgebied urgent maakt.

Onderzoek en onderwijs hebben op een verschillende manier impact. Voor onderzoek gaat het om het wetenschappelijk succes van de afdeling en van individuele onderzoekers, wat op verschillende manieren gemeten wordt. Bij de impact van onderwijs gaat het om het succes van de alumni, waarbij het voor het overgrote deel gaat om succes buiten de academia. Met name over dit laatste is geen goede informatie beschikbaar, terwijl mag worden aangenomen dat juist daar de impact van de aardwetenschappen groot is. In aansluiting op de Nationale Wetenschapsagenda kan feitelijk worden gesteld dat er sprake is van “Science for Science”, “Science for Society” en “Science for Business”.

Aardwetenschappers werken bij diverse kennisinstituten aan grote maatschappelijke vraagstukken (schaarste, klimaat, ruimte, etc.), binnen bedrijven werken ze bijvoorbeeld aan de exploratie van grondstoffen of het behouden en verbeteren van de bodem- en waterkwaliteit, bij de overheid maken ze als beleidsambtenaar de kaders voor het beheer van onze natuurlijke bestaansbronnen en de kwaliteit en inrichting van de fysieke leefomgeving. In wisselende mate geldt in deze voorbeelden dat waarin aardwetenschappenstudenten precies zijn opgeleid misschien minder belangrijk is dan hoe ze zijn opgeleid: compleet, in een excellente leeromgeving, met aandacht voor niet alleen technische skills maar ook overige competenties, en met inzicht in discipline overkoepelende vraagstukken.

Al met al is het nodig om in de analyse binnen deze uitvoeringsagenda onderscheid te maken tussen onderzoek en onderwijs: de uitgangspunten, doelen en belangen zijn niet altijd gelijk. Als het komt tot actielijnen komen de twee domeinen uiteraard weer samen, aangezien het uiteindelijk gaat om de activiteiten van één en dezelfde groep wetenschappers en het universitair aardwetenschappelijk veld als geheel.

3.1. Doelstelling 1: Behoud en versterking van Excellentie

Het Nederlandse aardwetenschappelijke onderzoeksveld heeft een leidende positie in Europa en behoort op deelgebieden zelfs tot de top 5 wereldwijd. Hoewel het onderzoek dat gedaan wordt van uitstekende kwaliteit is, is het veld als geheel klein, zowel in verhouding tot het aardwetenschappelijke veld wereldwijd, als in verhouding tot de totale wetenschap in Nederland. In andere landen waar aardwetenschappen op hoog niveau wordt beoefend (bijv. VS, UK, Japan), neemt het vakgebied ook een meer prominente plaats in binnen de nationale wetenschap.

De vooraanstaande positie van de Nederlandse aardwetenschappen komt niet alleen tot uiting in publicaties, internationale erkenningen (prijzen) en redacteurschappen, maar ook in leidende en initiërende rollen in grote Europese en internationale onderzoeksprogramma's en initiatieven zoals de onderzoeksinfrastructuren EPOS (European Plate Observatory Systems) en ICOS (Integrated Carbon

Observatory System). Deze initiatieven bouwen voort op een aantal succesvolle nationale programma's.

Deze positie staat echter onder druk, onder andere door toenemende onderwijsdruk op een – in de meeste gevallen – gelijkblijvende wetenschappelijke staf; steeds beperkter middelen voor het financieren van (vrij) onderzoek en promotieplaatsen; en beperkte mogelijkheden voor aardwetenschappelijk onderzoek binnen de topsectoren. De eerste doelstelling van dit uitvoeringsplan is daarom behoud en versterking van excellentie en de huidige positie in het internationale onderzoeksveld.

3.2. Doelstelling 2: Afstemmen en optimaliseren van bachelor-, master- en PhD opleidingen

In de afgelopen jaren is de instroom van studenten van de aardwetenschappelijke opleidingen sterk vergroot (zie **Tabel 1**). In studentenaantallen is Aardwetenschappen inmiddels groter dan bijvoorbeeld algemene scheikunde (~1400-1500 studenten aardwetenschappen tegenover ~1200 studenten algemene scheikunde (dit is exclusief ~900 studenten chemische technologie). Dit is uiteraard een positieve ontwikkeling, maar stelt de opleidingen ook voor grote uitdagingen. Hoewel het aantal studenten sterk is gegroeid, geldt dat niet voor de beschikbare financiering bij de aardwetenschappelijke faculteiten, en ook niet voor het beschikbare personeel – een trend die al jaren aan de gang is. Er moet dus met minder mensen aan steeds meer studenten onderwijs gegeven worden, en tegelijkertijd blijft er druk op de aanwezige onderzoekers om kwalitatief hoogwaardige projecten te acquireren en onderzoeksresultaten te genereren.

De vraag naar aardwetenschappers bij zowel het bedrijfsleven als de (semi-)overheid neemt ook toe – door stijgende prijzen van grondstoffen en energie, maar ook door het steeds sterkere belang van aardwetenschappen voor de maatschappelijke uitdagingen die in het begin van dit stuk zijn geschetst. Het werkgeversveld stelt duidelijke eisen aan het profiel van aardwetenschappers:

- In staat om aardwetenschappelijke problemen te begrijpen als onderdeel van het Systeem, Aarde als geheel (systeemdenken);
- In staat om aardwetenschappelijke processen en hun gevolgen niet alleen kwalitatief maar vooral ook kwantitatief te beschrijven, begrijpen en te modelleren (dwz: een goed begrip van ook andere natuurwetenschappelijke disciplines die in de aardwetenschappen een rol spelen: wiskunde, natuurkunde, scheikunde, biologie);
- In staat om de vertaling te kunnen maken van (fundamentele) aardwetenschappelijke processen en principes naar de concrete maatschappelijke uitdagingen in de praktijk.

De tweede doelstelling van dit uitvoeringsplan is om bachelor-, master-, en PhD opleidingen zo in te richten

dat ze in kwalitatief hoogwaardig onderwijs en onderzoek kunnen blijven voorzien, aantrekkelijk blijven voor de student (minimaal bestendigen van de huidige instroom), en voldoen aan de eisen die het werkgevende veld stelt, daarbij zo efficiënt mogelijk gebruik makend van de beperkt beschikbare middelen. Een toenemende instroom van buitenlandse studenten is daarbij ook een belangrijke voorwaarde voor het scheppen van een uitdagende en inspirerende academische werkomgeving.

3.3. Doelstelling 3: Vereenvoudigen van doorstroom van studenten tussen verschillende opleidingen

De aardwetenschappen zijn bij uitstek een veld dat zich afspeelt op een snijvlak tussen andere (zowel beta- als gamma-) disciplines: voor een goed begrip van het Systeem Aarde en de processen die zich daarin afspelen is een goed begrip van natuurkundige, scheikundige en biologische principes vereist, terwijl het beschrijven van aardwetenschappelijke processen in kwantitatieve modellen een goede wiskundige kennis vereist. De aardwetenschappen zijn dus intrinsiek multidisciplinair. Tegelijkertijd heeft aardwetenschappelijke kennis een groot economisch belang vanwege de grote maatschappelijke behoefte aan energie- en minerale grondstoffen, beheer van bodem en water tbv van voedsel en drinkwatervoorziening, het voorkomen van kosten als gevolg van onvoorzien grondcondities en natuurrampen, en komen aardwetenschappers steeds meer in aanraking met processen in de maatschappij zoals sociale weerstand tegen winning van grondstoffen, opslag van CO2 of nucleair afval en aansprakelijkheid wegens verkeerde voorspelling van aardbevingsrisico's.

De verschillende aardwetenschappelijke universiteiten hebben op dit moment al een duidelijke en afzonderlijke focus op aardwetenschappelijke deeldisciplines, en op kruisbestuiving met disciplines buiten de aardwetenschappen (bijvoorbeeld technische geowetenschappen in Delft, bodemkunde en ecologie in Wageningen en Amsterdam). Een dergelijke profilering is goed voor de diversiteit van het onderzoeksveld in Nederland. Tegelijkertijd is het belangrijk dat studenten, naarmate hun interesse zich gedurende de opleiding vormt, in staat zijn om makkelijk van de ene opleiding naar de andere over te stappen: zowel tussen aardwetenschappelijke deeldisciplines, als van aanpalende disciplines naar aardwetenschappen en vice-versa, en zowel op bachelor als op masterniveau. De derde doelstelling is daarom om de doorstroom van studenten tussen de verschillende opleidingen beter te faciliteren.

3.4. Doelstelling 4: Focus en Massa en versterken van de nationale afstemming van onderzoek en PhD onderwijs

Zoals in de vorige paragraaf al aangegeven is het aardwetenschappelijk onderwijs en onderzoek in Nederland

relatief goed georganiseerd. Al in de jaren '80 is het aantal opleidingen gereduceerd, en is er gekozen voor een duidelijke focus in onderzoek en onderwijs per instelling. Er is bewust voor gekozen om op nationaal niveau samen te werken, om zo beter op Europees en internationaal niveau te kunnen concurreren. Deze samenwerking is in de jaren '90 en '00 mede gefaciliteerd door het opzetten van een aantal interuniversitaire onderzoekscholen (NSG, VMSG, CTG, SENSE, ...) en verschillende succesvolle nationale onderzoeksprogramma's (bijvoorbeeld ISES, Darwin, en recenter het in 2014 gestartte NESSC). Deze programma's hebben aardwetenschappers uit verschillende deeldisciplines in staat gesteld gezamenlijk aan grootschalige problemen te werken, hetgeen tot belangrijke nieuwe inzichten heeft geleid, en aan de basis heeft gelegen van een aantal EU programma's.

In recentere jaren is het belang van inter-universitaire onderzoekscholen afgenomen, en is er een grotere nadruk komen te liggen op intra-universitaire graduate schools die veelal meerdere vakgebieden beslaan. Deze graduate schools hebben een belangrijke toegevoegde waarde in het creëren van verbanden over disciplines heen, en in het onderwijs van zgn. "transferable skills". De functie van de vroegere onderzoekscholen in het bij elkaar brengen van onderzoek en onderwijs aan de verschillende aardwetenschappelijke universiteiten kunnen zij echter niet overnemen. Er bestaat een duidelijke behoefte bij de universiteiten aan een platform dat deze afstemming op zich kan nemen. Daarbij moet het voorkómen van het ontstaan van witte vlekken in het onderwijs- en onderzoekslandschap een belangrijk aandachtspunt zijn.

De vierde doelstelling van dit uitvoeringsplan is daarom een versterking van afstemming van het onderzoek en het hierbij betrokken master en PhD-onderwijs op nationaal niveau.

3.5. Doelstelling 5: Aansluiten bij het maatschappelijke veld

De commissie stelt zich als vijfde doel om het onderzoek en de opleidingen te verbeteren door versterken van de aansluiting bij het maatschappelijke veld. De vier in de Agenda 2020 geformuleerde centrale onderzoeksthema's (Schaarste, Duurzame Energievoorziening, Klimaat & Water, Natuurrampen) vormen hiervoor een eerste uitgangspunt. Vanuit deze thema's kan goed aansluiting gezocht worden bij de innovatiecontracten van de topsectoren (Energie, water, land en tuinbouw), en bij de Societal Challenges (BioMarine; Energy; Climate Action, Environment, Resource Efficiency & Raw Materials; Security) van het EU Horizon 2020 programma.

Door heldere keuzes in onderzoekszwaartepunten en een duidelijke focus op talent (in alle fases van de wetenschappelijke loopbaan) wordt bovendien de uitgangspunt voor het verwerven van nationale en Europese onderzoekssubsidies en persoonlijke grants (o.a. NWO en ERC) versterkt.

3.6. Doelstelling 6: Nationale infrastructuur voor aardwetenschappelijk onderzoek

In de Agenda 2020 wordt gewezen op het belang van de beschikbaarheid van goede onderzoeksinfrastructuur. Daarbij gaat het om hoogwaardige experimentele opstellingen, analytische apparatuur, ICT infrastructuur voor complexe modellering en visualisatie daarvan. Maar vooral ook om infrastructuur die langdurige, ononderbroken en consistente waarnemingen mogelijk maakt, en om nationale data- en informatiebestanden die gegevens actueel, interoperabel en toegankelijk houden. Veelal gaat het daarbij om zeer kostbare apparatuur (zowel wat betreft aanschaf als operationele kosten), die niet door één instelling bekostigd kan worden.

Voor een goed infrastructuurprogramma is nationale afstemming van groot belang - zeker in een land als Nederland waar de afstand tussen instellingen geen belemmering zou moeten zijn voor het wederzijds gebruik van apparatuur. Overigens gaat het niet alleen om een afstemming tussen instellingen maar ook om afstemming tussen disciplines. In Utrecht wordt de komende jaren een belangrijke faciliteit op het gebied van Electronen Microscopie (EM Square) gerealiseerd op basis van samenwerking tussen Aardwetenschappen, de Betawetenschappen, Life Sciences en het Universitair Medisch Centrum (UMC).

De beschikbaarheid van infrastructuur van wereldklasse heeft een directe impact op de positie van de Nederlandse aardwetenschappen in het internationale veld. De zesde en laatste doelstelling van de Commissie is daarom het stimuleren van nationale afstemming voor de ontwikkeling van hoogwaardige aardwetenschappelijke onderzoeksinfrastructuur.

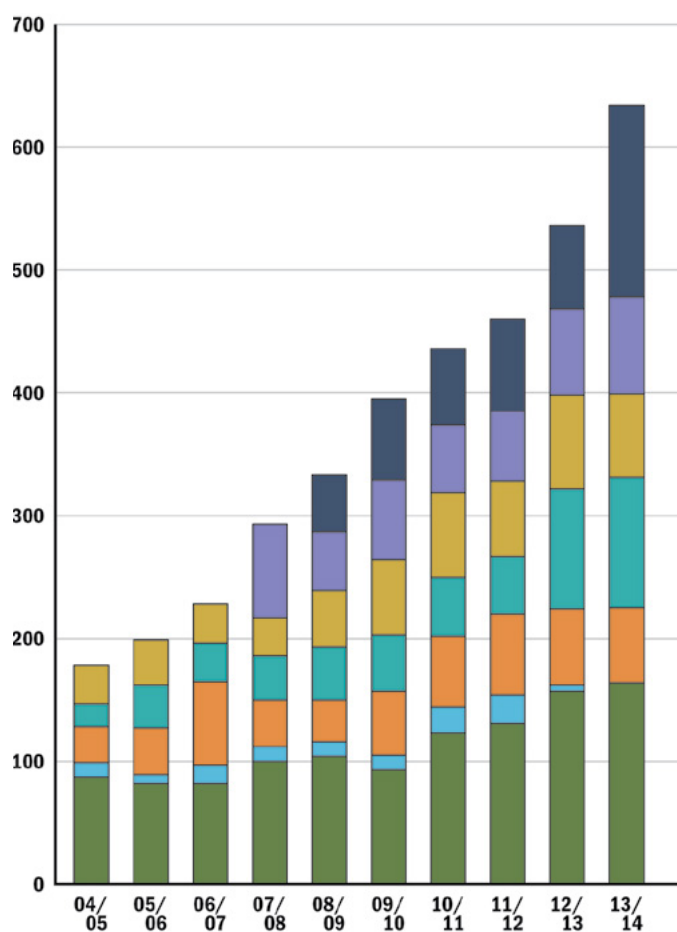
Een dergelijke afstemming kan bijvoorbeeld worden bereikt door het ontwikkelen van gezamenlijke businessmodellen voor het wederzijdse gebruik en de toegankelijkheid van onderzoeksapparatuur (zie bijvoorbeeld de NWO-groot subsidie voor ion en electron microprobes die gezamenlijk worden beheerd door Naturalis, Vrije Universiteit Amsterdam en Utrecht Universiteit), en/of door het opstellen van een nationale roadmap voor aardwetenschappelijke infrastructuur (analoog aan de nationale roadmap voor grootschalige infrastructuur, maar met aandacht ook voor kleinschaligere investeringen). Hierbij is ook aandacht nodig voor aansluiting op de Europese infrastructuur programma's, zoals de ESFRI Roadmap.

VERSTERKING VAN UNIVESITAIR ONDERWIJS EN ONDERZOEK

B Aardwetenschappen UU	87	82	82	100	104	93	123	131	157	164
B Aardwetenschappen UvA	12	7	15	12	12	12	21	23	5	0
B Aardwetenschappen VU	29	38	68	38	34	52	58	66	62	61
B Technische Aardwetenschappen TUD	12	35	31	36	43	46	48	47	98	106
B Bodem, Water, Atmosfeer WUR	31	37	32	31	46	61	69	61	76	68
B Aarde en Economie VU	0	0	0	76	48	65	55	57	70	79
B Future Planet Studies UvA	0	0	0	0	46	66	62	75	68	156
Totaal Bachelor Opleidingen	178	199	228	293	333	395	436	460	536	634
% vrouwelijke studenten	33	34	36	35	31	35	34	31	37	32
% stijging instroom tov 2004/2005	0	12	28	65	87	122	145	158	201	256
	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14

■ B Aardwetenschappen UU	■ B Bodem, Water, Atmosfeer WUR
■ B Aardwetenschappen UvA	■ B Aarde en Economie VU
■ B Aardwetenschappen VU	■ B Future Planet Studies UvA
■ B Technische Aardwetenschappen TUD	

Tabel 1: Instroom aardwetenschappelijke bacheloropleidingen.



Figuur 3: Toename instroom aardwetenschappelijke bacheloropleidingen in de periode 2004-2014.

4.1. Outreach, studentenwerving, en omgaan met sterk toegenomen instroom

Sinds 2004 is het aantal studenten aardwetenschappen gestaag gestegen (Figuur 3 en Tabel 1). Inmiddels ligt het totaal aantal bachelorstudenten op ca. 1400. De instroom is sinds 2004 ruim meer dan verdubbeld, en lag voor het studiejaar 2013/2014 op 621. Er zijn een aantal mogelijke oorzaken aan te wijzen voor deze toenemende belangstelling:

- Algemene toename van interesse in beta-studies;
- Uitstekend perspectief op de arbeidsmarkt (in verschillende sectoren wordt zelfs geklaagd over een gebrek aan Nederlandse graduates);
- Consistent zeer goede beoordelingen opleidingen in bijv. Elsevier;
- Versterkte aandacht voor maatschappelijke uitdagingen gerelateerd aan aardwetenschappelijke issues (zoals grondstoffenschaarste, energie, klimaatverandering, veiligheid);
- Eenmalig effect voor het studiejaar 2014/2015 door veranderingen in de studiefinanciering;
- Een andere belangrijke factor is de ontwikkeling van de opleidingen Future Planet Studies (UvA) en Aarde en Economie (VU). Dit zijn bacheloropleidingen met, naast een aardwetenschappelijke, ook een belangrijke gamma-component (sociale wetenschappen, economie). Deze opleidingen hebben door andere instroomeisen (bijv. geen natuurkunde en scheikunde) een belangrijke nieuwe studentenpopulatie aangeboord.

NB: in bovenstaande beschouwingen zijn de milieuoopleidingen in Utrecht niet meegenomen. Deze vormen onderdeel van de Faculteit Geowetenschappen maar vallen onder het departement Innovatie-, Milieu- en Energiewetenschappen (IMEW; onderzoeksschool SENSE). Qua karakter zijn deze opleidingen vergelijkbaar met b.v. Future Planet Studies.

Momenteel stelt de omvang van de instroom verschillende universiteiten voor grote uitdagingen. De aardwetenschappelijke opleidingen omvatten een belangrijke praktijkcomponent en daarmee gepaard gaande intensieve werkvormen (veldwerk, praktica, laboratoriumwerk), waardoor een toename in de studentpopulatie direct leidt tot een toename in de directe onderwijsbelasting (naar schatting zorgt 100% meer studenten voor 60% meer belasting). De wetenschappelijke staf is aan de meeste universiteiten in de periode 2004 – 2014 echter ongeveer gelijk gebleven of zelfs gedaald. Ook kunnen problemen ontstaan rond de beschikbaarheid van materialen, onderwijsruimten, oplopende analysekosten en veldwerklokaties.

In de komende jaren kan verwacht worden dat de instroom zich zal bestendigen, op een iets lager niveau dan in 2014/2015. De basis voor deze inschatting is: blijvende interesse in beta-studies, blijvend arbeidsmarkt perspectief, blijvende maatschappelijke uitdagingen,

afnemende studentenpopulatie, verdwijnen eenmalig effect studiefinanciering. Daarvoor is het echter wel noodzakelijk dat de kwaliteit van het onderwijs gehandhaafd blijft. En dat universiteiten aandacht blijven besteden aan studentenwerving en outreach.

Momenteel zijn er op dit gebied al de nodige activiteiten. Zo zijn er verschillende leermodules ontwikkeld voor gebruik op middelbare scholen (o.a. Biogeologie en de Bewegende Aarde), wordt er in onderzoeksprojecten steeds meer aandacht besteedt aan outreach, verschijnen verschillende aardwetenschappers regelmatig in de media (bijvoorbeeld Appy Sluijs als regelmatige gast bij DWDD) en worden valorisatie-activiteiten meegenomen in functioneringsgesprekken. Toch zijn deze activiteiten vaak nog het werk van enkele enthousiaste individuen, in plaats van een structureel aandachtsgebied. Ook ziet de commissie hier ruimte voor meer structurele samenwerking tussen de betrokken instellingen. Beroepsverenigingen als de KNGMG, de Nederlandse Geologen Vereniging (NGV), Het Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap (KNAG) en het Koninklijk Instituut Van Ingenieurs (KIVI) zouden hierin ook een rol kunnen spelen.

Voor zover de commissie heeft kunnen nagaan, zijn cijfers over de maatschappelijke carrière van studenten na het afstuderen niet of slechts beperkt beschikbaar. De commissie beveelt de universiteiten aan gericht te gaan volgen waar aardwetenschappelijke alumni in de maatschappij terecht komen, en of hun opleiding voldoet aan de behoeften van het werkveld.

AANBEVELINGEN

- Maak een goede analyse van de achtergrond van de toegenomen instroom, en de verwachte ontwikkelingen in de komende 5-10 jaar.
- Besteed expliciet aandacht aan de werving van buitenlandse studenten (engelstalige curricula; werving in het buitenland; samenwerking met buitenlandse universiteiten).
- Versterk de samenwerking tussen universiteiten, onderzoeksinstituten, bedrijfsleven en beroepsverenigingen bij het onder de aandacht brengen van aardwetenschappelijke onderzoeksresultaten bij een breed publiek en verdere ontwikkeling van leermodules voor middelbare scholen.
- Neem outreach-activiteiten ook op in de functieomschrijving van actieve wetenschappelijk medewerkers (naast onderwijs, onderzoek en organisatorische taken).
- Creëer in grote onderzoeksprojecten standaard een integrale component voor outreach-activiteiten (bijv. 1-2% van het onderzoeksbudget).

4.2. Bacheloropleiding: Brede basis, goede doorstroom, en samenwerken ten behoeve van efficiëntie

Aardwetenschappen is gestaag een naar buiten kijkend interdisciplinair wetenschapsveld geworden door zowel de maatschappelijke context als de wetenschappelijke vragen. De universiteiten hebben hierop inspringend diverse multidisciplinaire bachelor en master programma's gelanceerd. Daarnaast is er vanwege "Bologna" meer mobiliteit tussen de bachelor en masterprogramma's.

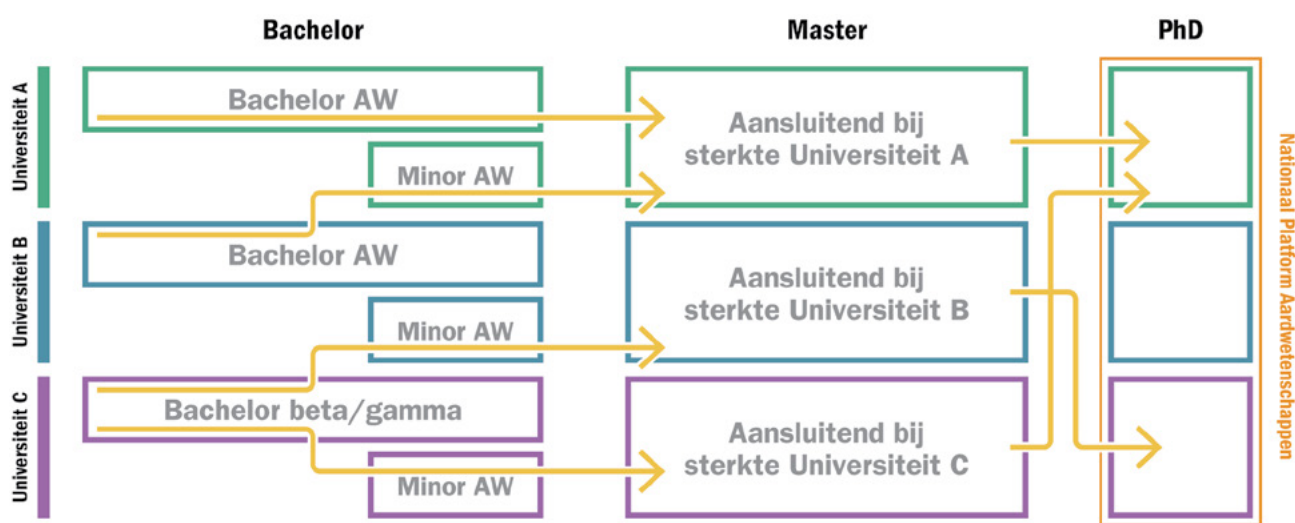
De Nederlandse masterprogramma's in de Aardwetenschappen staan in principe open voor bachelors in diverse disciplines, niet alleen traditionele aardwetenschappen. Deze open-deur policy was er al voor fysici en chemici die na hun bachelor in de natuur of scheikunde geofysica of geochemie gingen studeren, maar deze zij-instroom wordt nu veel omvangrijker, diverser en vraagt structurele oplossingen. Voor de studenten moet het duidelijk worden wat er mogelijk is en wat de toelatingseisen zijn. Voor de universiteit is uitdaging om diepgang en kwaliteit te behouden, en dit adequaat te faciliteren met behulp van minors, schakelcursussen, etc.

Aardwetenschappen wordt in Nederland aan een beperkt aantal universiteiten aangeboden. De TUDelft kent de opleiding Technische Aardwetenschappen. Aan de WUR wordt de bachelor Bodem, Water, Atmosfeer gegeven, vooral gericht op fysische, chemische én biologische processen in het ruimtelijk domein dat aan de onderzijde begrensd wordt door bodem en grondwater en reikt tot de hogere luchtlagen (hydrologie, bodemkunde, meteorologie) en de interacties daartussen. De UU biedt een brede aardwetenschappelijke bachelor aan waarin de kwantitatieve benadering centraal staat. Daarnaast zal vanaf 2016 een nieuw internationaal,

interdisciplinair en engelstalig bachelorprogramma worden aangeboden: Global Sustainability Science (vanuit departement IMEW).

Het onderzoek en onderwijs aan de VU en de UvA is momenteel sterk in beweging met het streven naar een "Amsterdam Beta Cluster", met daarbinnen plannen voor samenwerking op het onderzoeksgebied "Earth, Ecology and Environment". Ten tijde van de afronding van dit rapport is de verwachting dat Future Planet Studies (UvA), Aardwetenschappen (VU) en Aarde en Economie (VU) als afzonderlijke opleidingen blijven bestaan, terwijl de Uva BSc Aardwetenschappen als afzonderlijke opleiding verdwijnt; de MSc Aardwetenschappen aan VU enUvA gaan waarschijnlijk een verregaande vorm van samenwerking en versmelting vertonen. De UTwente kent de post-initiële opleidingen van de Faculteit Geo-Informatiewetenschappen en Aardobservaties.

Het advies van de Commissie Aardwetenschappen 2020 richt zich op deze opleidingen. Andere Geo-gerelateerde opleidingen zijn Innovatie, Energy and Environmental Science opleidingen aan de UU, Meteorologie, Oceaan en Klimaatstudies aan de UU, en Water Sciences van het Institute for Water Education (UNESCO-IHE) in Delft. de Rijksuniversiteit Groningen (RUG) kent geen aardwetenschappelijke faculteit, maar wel aardwetenschappelijk onderzoek en onderwijs (binnen de masteropleiding energy and environmental sciences) vanuit het Energy and Sustainability Research Institute Groningen (ESRIG), binnen de natuurwetenschappelijke faculteit. Uit gesprekken van de commissie met het bedrijfsleven blijkt dat bij het werkgevend veld vooral behoefte bestaat aan afstudeerders met een herkenbaar profiel, en een goed begrip van de Aarde als systeem. Daarnaast



Figuur 4: "stroomschema" voor de inrichting van het aardwetenschappelijk onderwijs. Pijlen geven voorbeelden van mogelijke studiepaden aan. Via minoren die aansluiten bij de specifieke expertise van de universiteiten moet de doorstroom van de ene naar de andere opleiding mogelijk worden gemaakt. Minoren kunnen ook de doorstroom van studenten uit aanpalende disciplines (beta en gamma) naar Aardwetenschappelijke masters faciliteren.

heeft het werkgevend veld een sterke behoefte aan aardwetenschappers die in staat zijn processen in dit systeem op een kwantitatieve manier te beschrijven. Dat houdt in een solide basis in wiskunde, natuurkunde en andere betadisciplines. Brede “beta-gamma” studies als Aarde en Economie en Future Planet Studies zijn populair bij studenten, maar de geïnterviewden uit het bedrijfsleven geven aan behoefte te hebben aan een veel meer beta-gericht profiel. Daarentegen is de verwachting dat overheden en meer beleidsgerichte werkgevers wel behoefte hebben aan een meer gamma-gericht profiel.

Aan de meeste van de hierboven genoemde universiteiten is het principe van Majors en Minors ingevoerd. De commissie is van mening dat deze Minors een belangrijke rol zouden kunnen spelen in het faciliteren van de doorstroom van de ene aardwetenschappelijke universiteit naar de andere (bijvoorbeeld van een major aan de WUR via een minor aan de UU naar een Masteropleiding aan de UU), of van een aanpalende bachelor opleiding naar een aardwetenschappelijke Master (bijvoorbeeld van een major technische natuurkunde aan de TUDelft via een Minor Technische Aardwetenschappen naar een Master Applied Earth Science). Dit “stroomschema” is afgebeeld in **Figuur 4**.

De commissie ziet dit stroomschema overigens als ideaalbeeld, maar realiseert zich dat er vele randvoorwaarden zijn waaraan de inrichting van opleidingen moet voldoen. De commissie beveelt de universiteiten echter wel aan om te onderzoeken of er factoren zijn die een dergelijke doorstroom van universiteit naar universiteit en van opleiding naar opleiding (ernstig) belemmeren, en om gezamenlijk te zoeken naar mogelijkheden om zulke belemmeringen weg te nemen.

Om de onderwijscapaciteit van de wetenschappelijke staf zo efficiënt en effectief mogelijk in te zetten, beveelt de commissie aan er voor te zorgen dat studenten eenvoudig cursussen kunnen volgen aan andere universiteiten (zowel in de bachelor- als de masterfase). Hierdoor wordt het mogelijk om te zorgen dat profielen van de verschillende universiteiten zich complementair aan elkaar kunnen ontwikkelen en elkaar niet hoeven te overlappen, terwijl er toch een brede opleiding aangeboden kan worden. Als voorbeeld kan gelden de focus op carbonaatsedimentologie aan de VU en op klastische sedimentologie aan de UU.

Een specifiek aandachtspunt is de werving van studenten uit het buitenland voor de Master fase. Het ITC richt zich met een post-initiele master specifiek op niet-Europese studenten. Voor andere universiteiten is dit niet of nauwelijks relevant in verband met de studiefinanciering. Voor deze universiteiten is het aanboren van Europese studentenpopulaties wel interessant. Doel hiervan is het aantrekken van buitenlands talent, het scheppen van een internationale en uitdagende academische leeromgeving, inclusief de interculturele aspecten die hierbij een rol spelen en het voorbereiden van Nederlandse academici op een

internationale en zeer competitieve arbeidsmarkt. Belangrijk hiervoor is:

- Het aanbieden van engelstalige opleidingen zo mogelijk al in de bachelorfase;
- Duidelijkheid over de instroomeisen en aanbieden van mogelijkheden om deficiënties weg te werken;
- Samenwerking met buitenlandse instellingen, bijvoorbeeld via Erasmus Mundus programma's of in de vorm van zogenaamde "Structured mobility": reguliere uitwisseling van studenten tussen instellingen als vast onderdeel van de opleiding.

AANBEVELINGEN

- Handhaaf een goede balans tussen 'klassieke' aardwetenschappelijke opleidingen, technische aardwetenschappelijke opleidingen en brede opleidingen met een aardwetenschappelijke component (zoals Future Planet Studies en Aarde en Economie).
- Richt Minoren in aansluitend op de sterktes in onderzoek van de faculteit, die het mogelijk maken voor een bachelorstudent van één universiteit om over te stappen naar een master in een andere universiteit; deze Minoren moeten ook de toegang van studenten uit aanpalende studies naar een master aardwetenschappen vergemakkelijken.
- Zorg voor duidelijkheid bij studenten over (zij-) instroomeisen in de Master, en zorg voor goede ondersteuning om studenten in staat te stellen aan deze eisen te voldoen.
- Besteedt specifiek aandacht aan buitenlandse zij-instromers.
- Voorkom witte vlekken in het onderwijslandschap.

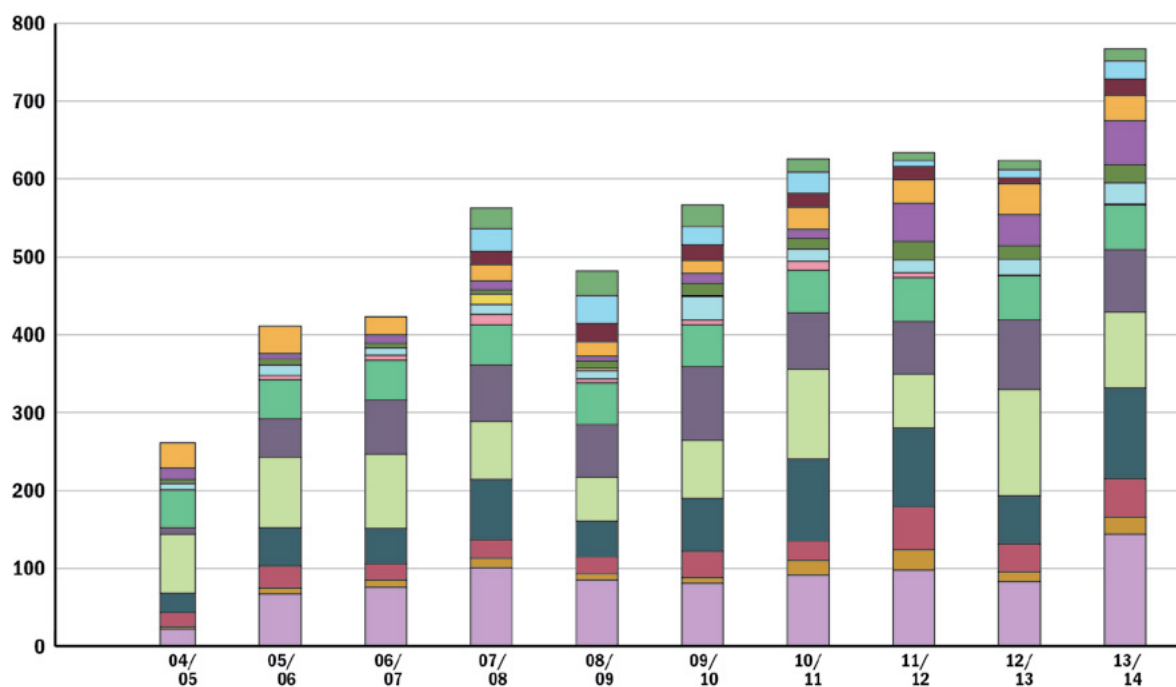
Totaal M Earth sciences	42	102	105	136	114	121	134	178	130	214
M Earth sciences UU	21	66	75	100	84	80	90	97	82	143
M Earth sciences UvA	3	8	9	12	8	7	19	26	13	22
M Earth sciences VU	18	28	21	24	22	34	25	55	35	49
Total M Environmental sciences	101	140	141	152	102	143	221	171	199	214
M Environmental sciences UU	25	49	45	77	46	68	105	101	62	117
M Environmental sciences WUR	76	91	96	75	56	75	116	70	137	97
M Applied earth sciences TUD	47	49	69	72	68	94	72	67	89	80
M Environment and resource management VU	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
M Geosciences of basins and lithosphere VU	0	6	7	13	5	6	11	7	1	1
M Hydrology VU	8	13	9	13	11	30	16	16	20	27
M Palaeoclimatology and Geo-ecosystems VU	0	0	0	13	3	1	0	0	0	0
M Climate Studies WUR	5	8	6	6	9	16	14	24	17	23
M Earth and Environment WUR	15	7	11	11	7	13	11	49	40	57
M Geo-information science WUR	32	35	23	21	18	16	29	30	40	32
M Applied Earth Sciences UT-ITC	0	0	0	17	24	20	18	17	8	21
M Natural Resources UT-ITC	0	0	0	29	35	24	27	8	10	24
M Water Resources Management UT-ITC	0	0	0	27	32	28	17	10	12	15
M Meteorology, Physical Oceanography and Climate UT-ITC	0	0	6	14	20	26	7	14	23	???
M Energy and Environmental Sciences	12	14	14	15	13	17	25	27	21	19

- M Earth sciences UU
- M Earth sciences UvA
- M Earth sciences VU
- M Environmental sciences UU
- M Environmental sciences WUR
- M Applied earth sciences TUD
- M Environment and resource management VU
- M Geosciences of basins and lithosphere VU
- M Hydrology VU
- M Palaeoclimatology and Geo-ecosystems VU
- M Climate Studies WUR
- M Earth and Environment WUR
- M Geo-information science WUR
- M Applied Earth Sciences UT-ITC
- M Natural Resources UT-ITC
- M Water Resources Management UT-ITC

Totaal Master Opleidingen	311	412	439	666	585	703	765	721	724	856
% vrouwelijke studenten	51%	45%	45%	40%	39%	42%	45%	40%	41%	???
% stijging instroom tov 2004/2005	0%	32%	41%	114%	88%	126%	146%	132%	133%	175%

04/05 05/06 06/07 07/08 08/09 09/10 10/11 11/12 12/13 13/14

Tabel 2: Studentenaantallen van de aardwetenschappelijke Masteropleidingen.



Figuur 5: Toename instroom aardwetenschappelijke masteropleidingen in de periode 2004-2014.

4.3. Masteropleiding: Verdieping en aansluiting op excellent onderzoek in levensvatbare opleidingen met voldoende massa

Ook in de Masteropleidingen is het aantal studenten sinds 2004 sterk toegenomen, hoewel het beeld minder eenduidig is dan voor de Bacheloropleidingen (zie **Figuur 5** en **Tabel 2**). De inrichting van de Masteropleidingen is in de afgelopen jaren aanzienlijk veranderd. Er is een duidelijke tendens waarneembaar van een groot aantal, afzonderlijk geaccrediteerde Masters met vaak relatief kleine studentenaantallen, naar bredere en generiekere Masters met daarbinnen afzonderlijke, specialistische tracks. Binnen de UU en TUD bestaat een dergelijk systeem al lang; binnen de VU, UvA en de WUR is een overgang gaande. De commissie vindt dit een positieve ontwikkeling, die bijdraagt aan de efficiëntie. Wel is het belangrijk dat er een goede balans blijft bestaan tussen efficiëntie, breedte en diepgang in de opleiding.

Met betrekking tot instroom in de Masteropleidingen is er in de afgelopen jaren een belangrijke verandering opgetreden. Waar voorheen vooral sprake was van directe doorstroom vanuit een aardwetenschappelijke bachelor in een “doorstroommaster” aan de zelfde universiteit - waarbij instroomeisen van de Master direct aansloten op de afstudeereisen van de bachelor - zijn door nieuwe regelgeving in principe de deuren open gezet om instroom in de Master uit aanpalende vakgebieden én uit het buitenland mogelijke te maken.

Dit is een positieve ontwikkeling, die een aardwetenschappelijke afstudeerrichting mogelijk maakt voor studenten met een bredere achtergrond. Dit levert een bredere pool van afstudeerders op voor het werkgeversveld, en meer ruimte voor een divers aanbod aan masteropleidingen met voldoende levensvatbaarheid. Voor een levensvatbare master acht de commissie een stabiele instroom van tenminste 20 studenten per jaar noodzakelijk. Een andere belangrijke factor voor de levensvatbaarheid van een masteropleiding is het aantal “dragende” hoogleraren.

Dit levert echter problemen op met betrekking tot toelatingseisen. Bij een bredere studentenpopulatie is het van groot belang om studenten duidelijkheid te bieden over zowel feitelijke/formele als praktische instroomeisen. Studenten worden hierin echter niet (meer) gefaciliteerd, waardoor het probleem uiteindelijk terecht komt bij de studenten en docenten (student voldoet formeel aan eisen, maar in praktijk ontbreekt veel noodzakelijke kennis). Minoren kunnen een deel van de oplossing vormen om een “schakelperiode” te voorkomen. Maar zo’n schakelperiode (bijvoorbeeld in de vorm van een pre-master van 6-12 maanden) kan in specifieke gevallen wel nodig zijn. Binnen de WUR ligt ook een plan voor om samen met de studievereniging van de master een buddiesysteem te ontwikkelen, zodat de vakken voldoende uitdaging en diepgang kunnen krijgen voor de doorstromers uit de eigen bachelor opleiding en ook voor zij-instromers aantrekkelijk

en studeerbaar zijn. Het wordt belangrijk gevonden dat Nederland / de universiteiten hierin faciliteren, vooral als het gaat om aantrekken van studenten uit het buitenland. Ook het vormgeven van internationale masteropleidingen samen met andere topuniversiteiten in Europa is daarbij een optie.

Zoals eerder opgemerkt ligt in de bachelorfase de nadruk op het bieden van een brede kennismaking met het vakgebied aardwetenschappen en het systeem aarde, terwijl in de Master diepgang wordt gezocht. Daar in Nederland echter sprake is van een beperkt aantal universiteiten met een aardwetenschappelijke opleiding, en bovendien van een duidelijke verdeling van onderzoeksexpertises, kan niet aan elke universiteit in elke richting diepgang worden geboden. De commissie beveelt daarom aan cursussen aan individuele universiteiten open te stellen voor alle Masterstudenten in Nederland. Door specifieke mastervakken die aansluiten op excellente onderzoekslijnen binnen deze universiteiten breder open te stellen wordt de ontwikkeling van diepgaande kennis op meer specialistische deelgebieden gefaciliteerd voor alle masterstudenten binnen de verschillende opleidingen.

Het aardwetenschappelijk bachelor- en masteronderwijs is onlangs gevisiteerd in het kader van de kwaliteitsbeoordeling hoger onderwijs. Daarbij werd door de visitatiecommissie ondermeer opgemerkt dat de standaarden en systematiek van thesisbeoordelingen te vaak verschillen, zowel binnen als tussen de universiteiten. Ook merkte de visitatiecommissie op dat studenten hun vrije keuzeruimte vaak invullen met kwalitatieve onderzoeken en veldstudies, in plaats van met inhoudelijk en “kwantitatief” verdiepende (wis/natuur/scheikunde) vakken. Dit leidt tot studenten die veelal gericht zijn op kwalitatieve, beschrijvende kennis van aardwetenschappelijke patronen en processen. Zoals eerder in dit plan opgemerkt bestaat bij het bedrijfsleven echter juist een toenemende behoefte aan aardwetenschappers die in staat zijn processen in het systeem aarde kwantitatief te begrijpen en te modelleren. De Commissie beveelt daarom aan om de keuzemogelijkheden voor studenten hier op in te richten.

AANBEVELINGEN

- Het model van een beperkt aantal (1-3) brede Masteropleidingen per instelling met daarbinnen specialistische tracks wordt gezien als een goed model. Zorg daarbij echter wel voor goede balans tussen breedte, diepte en efficiëntie.
- Stel specialistische cursussen open voor alle geïnteresseerde studenten in Nederland; onderzoek eventuele bestaande belemmeringen voor studenten om specialistische cursussen aan andere universiteiten te volgen en mee te laten tellen voor het eigen curriculum.
- Overweeg om specialistische cursussen daadwerkelijk gezamenlijk aan te bieden.
- Maak beroepsprofielen beter zichtbaar in de opleiding en

informer studenten specifiek – in samenwerking met het bedrijfsleven, bijvoorbeeld via loopbaandagen – op keuzemomenten (bachelor naar master, master naar PhD) over door het bedrijfsleven gewenste profielen.

- Stem de beoordelingssystematiek voor afstudeeronderzoek/theses af tussen de universiteiten.

4.4. PhD traject: Vernieuwing van interuniversitaire afstemming en samenwerking; nationaal platform aardwetenschappen.

Het doel van de PhD is het opleiden van kritische, zelfstandige en probleemoplossende onderzoekers. Aan dusdanig opgeleide mensen is ook grote behoefte in het bedrijfsleven. Voor de werkgevers is daarbij de aard van het onderzoek – uitdagend, voorbij de state-of-the-art, fundamenteel – van groter belang dan de precieze inhoud ervan. De financiering van PhD posities in de aardwetenschappen is echter in toenemende mate (vrijwel) volledig afhankelijk van de 2e en 3e geldstroom. Deze financiering komt steeds meer onder druk te staan. Binnen de topsectoren is de ruimte voor aardwetenschappelijk onderzoek beperkt (zie ook **Hoofdstuk 5**). Bovendien is er minder ruimte voor ongebonden onderzoek.

NB: de slagingskans bij VENI-VIDI en VICI aanvragen is laag, maar dat is inherent aan het systeem. Het gaat tenslotte om de top 5 -10 % van de wetenschappers in een bepaald vakgebied. De lat ligt dus per definitie hoog.

In de jaren '90 zijn in de aardwetenschappen een aantal succesvolle interuniversitaire onderzoekscholen opgericht (Netherlands Research School for Sedimentary Geology [NSG]; Vening Meinesz School for Geodynamics [VMSG]; Center for Technical Geoscience [CTG]; Research School for Socio-Economic and Natural Sciences of the Environment [SENSE]; Buys Ballot Onderzoekschool voor meteorologie, oceanografie en klimaatonderzoek; Boussinesq Centrum voor hydrologisch onderzoek; Netherlands Centre for Geoecological Research [ICG]), die een belangrijke rol hebben gespeeld in het faciliteren van samenwerking tussen betrokken universiteiten en onderzoeksinstituten, het verzorgen van specialistische cursussen voor met name PhD studenten, het gezamenlijk begeleiden van PhD's, etc. In de afgelopen jaren is de focus in het nederlandse bestel echter verschoven van onderzoekscholen naar Graduate Schools: intra-universitaire instituten, met een focus op soft / transferable skills training. Hoewel Graduate Schools op dat gebied een zeer belangrijke rol vervullen, is met het (grotendeels) verdwijnen van onderzoekscholen een niche ontstaan, die door de aardwetenschappelijke community erg belangrijk gevonden wordt: een platform voor afstemming tussen universiteiten met betrekking tot opleiding en onderzoek; aanbod van specialistische cursussen, toegankelijk voor PhD en (evt.) masterstudenten van alle universiteiten.

De commissie ziet ruimte voor een landelijk platform Aardwetenschappen: een netwerk-achtige structuur, faciliterend en service-oriented, met focus op verbinding tussen universiteiten. Een dergelijke organisatie zou verschillende taken op zich kunnen nemen, zoals:

- Nationale afstemming, bijvoorbeeld met betrekking tot het faciliteren van zij-instroom met behoud van voldoende diepgang in de Master, uniforme beoordeling van theses, etc.;
- Profileren van de onderzoeksveld naar de buitenwereld (outreach; positionering; verantwoordelijkheid organisatie van het tweejaarlijkse Nederlands Aardwetenschappelijk Congres (NAC);
- Het verzorgen van specialistische cursussen, toegankelijk voor alle PhD's; ook kan worden gedacht aan de organisatie van summerschools;
- Het opzetten van een op alle universiteiten erkend systeem van studiepunten voor het volgen en geven van cursussen door promovendi.

Binnen het platform kan ruimte bestaan voor diverse thema's en communities; bijvoorbeeld Solid Earth, Earth Surface, Biosphere / Hydrosphere / Atmosphere, Applied Geoscience, Biogeoscience. De "zwaarte" van een dergelijke organisatie is afhankelijk van de gekozen insteek en scope. Facilitering en organiseren van cursussen kan low-budget & low profile. Een meer "profilerende" invulling vraagt om een zwaardere organisatie.

AANBEVELINGEN

- Onderzoek de mogelijkheid voor het creëren van één nationaal onderzoeksplatform in de aardwetenschappen dat zorgdraagt voor oa:
 - Nationale afstemming, bijvoorbeeld met betrekking tot het faciliteren van zij-instroom met behoud van voldoende diepgang in de Master en ontwikkeling van een uniforme beoordelingssystematiek voor afstudeeronderzoek/theses;
 - Profileren van de onderzoeksveld naar de buitenwereld;
 - Het verzorgen van specialistische cursussen, toegankelijk voor alle PhD's;
 - Het opzetten van een op alle universiteiten erkend systeem van studiepunten voor het volgen en geven van cursussen door promovendi.



VERSTERKING VAN ONDER- ZOEK: FOCUS EN MASSA VERSUS CONCURRENTIE

5.1. Analyse

Het aardwetenschappelijk onderzoek in Nederland is goed georganiseerd. Door een grondige herverdeling van onderwijs en onderzoek in de jaren tachtig is er een beperkt aantal aardwetenschappelijke faculteiten overgebleven, met een duidelijke verdeling van sterktes in onderwijs en onderzoek. Deze verdeling is er zowel op macroniveau (Brede aardwetenschappelijke opleiding aan de VU en UU; Toegepaste Aardwetenschappen aan de TU Delft; Fysische Geografie, Bodemkunde en Environmental Science aan de WUR en UvA; Aardobservatie aan de UTwente) als op detailniveau (bijvoorbeeld carbonaatsedimentologie aan de VU en klastische sedimentologie aan de UU en TUD).

Mede door de vroege vorming van interuniversitaire onderzoekscholen en eerder genoemde grote onderzoeksprogramma's is er al lang sprake van relatief goede afstemming en synergie tussen de verschillende universiteiten. Er is daardoor relatief weinig overlap in onderzoekssterktes tussen de universiteiten. Bovendien blijkt uit onderzoeks- en onderwijsvisitaties dat er weinig tot geen zwakke onderzoeksgroepen zijn.

Naast de universiteiten kent Nederland een aantal niet-universitaire kennisinstellingen die zich wijden aan (toegepast) aardwetenschappelijk onderzoek, zoals Alterra, Deltares, het KNMI, het NIOZ en een deel van TNO Geologische Dienst Nederland. Onder andere via de eerder genoemde onderzoekscholen zijn er ook tussen deze instellingen en de universiteiten goede samenwerkingsverbanden ontstaan. Bovendien zijn de aardwetenschappen er goed in geslaagd focus en massa te creëren binnen grote, meerjarige 2e en 3e geldstroom programma's. Enkele voorbeelden zijn:

- ISES: Toponderzoeksschool Netherlands Research Centre

for Integrated Solid Earth Science (vaste aarde; 1998-2012; TUDelft, UU, VU);

- Darwin Centrum voor Biogeologie (biogeoscience; 2004-2014; UU, UvA, VU, WUR, RUN, NIOO, NIOZ);
- ISAPP: Integrated System Approach Petroleum Production programme (applied geoscience; 2004-2009; TUDelft, TNO, Shell);
- NESSC: zwaartekrachtprogramma Nederlands Earth System Science Center (biosphere, hydrosphere/atmosphere; start 2014; UU-AW, UU-IMAU, RUN, VU, NIOZ, WUR).

Ondanks de goede organisatie, aantoonbare kwaliteit van onderwijs en onderzoek, sterke track record in het creëren van focus en massa, en sterk toegenomen studenteninstroom, ziet het onderzoeksveld zich echter geconfronteerd met enkele belangrijke problemen.

- De sterk toegenomen studenteninstroom betekent een sterke toename in onderwijsbelasting van het personeel. De staf is aan de meeste universiteiten niet meegegroeid of gelijk gebleven (zie ook [Hoofdstuk 3.2](#)).
- Diezelfde staf is voor het financieren van onderzoek steeds meer aangewezen op 2e en 3e geldstroomfinanciering, die bovendien steeds beperkter, en dus competitiever en tijdrovender wordt.
- Ook binnen de topsectoren heeft aardwetenschappelijk onderzoek slechts een beperkte positie, ondanks evident belang van aardwetenschappen voor sectoren als energie, water en land- en tuinbouw.
- Weinig overlap in onderzoek tussen de universiteiten betekent automatisch ook dat het mogelijke verdwijnen van een gebied aan één universiteit, niet eenvoudig opgevangen kan worden door een andere. Het is daarom aan de aardwetenschappelijke community als geheel, op nationaal niveau, om zorg te blijven dragen voor een goede afstemming en borging van specialistische expertise op belangrijke aardwetenschappelijke deelgebieden.
- Door de keuzes gemaakt tijdens de herverdeling in de jaren tachtig, en ook meer recent, zijn al witte vlekken ontstaan in het onderzoekslandschap in Nederland, die het vermogen om in te spelen op nieuwe ontwikkelingen beperken. Voorbeelden zijn:
 - De positie van geohydrologie aan de VU staat onder druk. Deze kennis is echter van groot belang voor bijvoorbeeld onderzoek naar de impact van mogelijke schaliegaswinning. Ook bij werkgevers als TNO en Deltares bestaat grote behoefte aan deze kennis;
 - Carbonaatsedimentologie is van groot belang binnen bijvoorbeeld de olie-industrie. Tot enige jaren geleden had Nederland een aantal wereldwijd toonaangevende onderzoekers op dit gebied in huis, maar inmiddels is de omvang van deze expertise aan de universiteiten sterk verminderd;
 - Ertskunde en mineralogie zijn al sinds de jaren '80 grotendeels verdwenen. Hierdoor is er geen capaciteit om in te spelen op de ontwikkeling van Deep Sea Mining, een veld waar bijvoorbeeld vanuit

de Nederlandse offshore industrie grote belangstelling bestaat;

- In het Caribisch grondgebied van Nederland (BES eilanden) is een grote kennisbehoefte op het gebied van oa aardbevingen, vulkanologie en carbonaatsedimentologie.

Bovenstaande disciplines zijn niet alleen belangrijk vanwege hun mogelijke toepassing binnen het Nederlandse grondgebied, maar zijn ook belangrijke onderdelen van een gedegen, brede basisopleiding in de Aardwetenschappen. Het verlies van teveel van dit soort basisdisciplines binnen Nederland kan uiteindelijk het vakgebied als geheel verzwakken.

NB: tegenover het schrappen van bepaalde werkvelden staat ook weer de ontwikkeling van nieuwe werkvelden in de aardwetenschappen. Dit is ook een natuurlijke trend en een gevolg van de evolutie in elk wetenschapsgebied. M.a.w niet elk verlies hoeft meteen een witte vlek op te leveren en schept bovendien ruimte voor nieuwe ontwikkelingen.

5.2. Aanbevelingen

De KNAW signaleert in haar recente reflectie op het profilerings- en topsectorenbeleid vergelijkbare ontwikkelingen in andere kleinere voor het land belangrijke vakgebieden, en doet een aantal concrete aanbevelingen om te zorgen dat deze niet buiten de boot vallen:

- Bied tegenwicht tegen een al te krachtige profilering op instellingsniveau door landelijke afstemming op sector- en disciplineniveau te stimuleren. Doe dit door sectorplannen nieuwe stijl te ontwikkelen;
- Behoud en versterk de interuniversitaire onderzoekscholen in de disciplines die alleen op landelijk niveau een voldoende schaal hebben;
- Vergroot het NWO-budget voor infrastructurele voorzieningen van nationale en internationale betekenis die de draagkracht van individuele universiteiten te boven gaan;
- Onderzoek mogelijkheid en nut om de landelijke onderzoeksvisitaties te herstellen;
- Herstel de budgettaire ruimte voor vrij en ongebonden fundamenteel onderzoek.

De Commissie onderschrijft deze conclusies en aanbevelingen krachtig, en neemt ze over voor het huidige uitvoeringsplan.

In de Agenda 2020 worden vier centrale thema's voor aardwetenschappelijk onderzoek in Nederland gedefinieerd. Deze thema's vormen een geschikte basis om:

- Voort te bouwen op aanwezige excellentie;
- Focus en massa te creëren op basis van deze expertise;
- Aan te sluiten op bij het topsectorenbeleid en Europese / internationale onderzoeksprogrammering.

In **Appendix III** worden de 4 onderzoeksthema's uit

de Agenda 2020 opnieuw kort beschreven. Vervolgens wordt aangeduid waar binnen elk van de thema's de kennis momenteel geconcentreerd is, welke samenwerkingsverbanden er al zijn, en hoe het thema aansluit bij de topsectoren en onderdelen van het Horizon 2020. Ook wordt aangegeven – indien van toepassing – welke grootschalige infrastructuur voor het thema van belang is.

AANBEVELINGEN

- Vergroot de ruimte voor vrij en ongebonden fundamenteel onderzoek (open competitie) in de aardwetenschappen.
- Maak een verdere analyse van de witte vlekken problematiek. Het eerder voorgestelde nationale platform Aardwetenschappen kan hier een belangrijke rol vervullen;
- Zoek naar concrete oplossingen voor ontstane witte vlekken. Werk hier in samen met onderzoeksinstituten en het bedrijfsleven
- Geef het voorgestelde nationale platform Aardwetenschappen een belangrijke rol in het positioneren van aardwetenschappen in het onderzoeksbeleid, zoals de topsectoren en de lobby naar Horizon 2020 (en andere toekomstige EU programma's).

VERSTERKING VAN DE INFRA- STRUCTUUR

Onderzoeksinfrastructuur is onlosmakelijk verbonden aan de Aardwetenschappen. Het gaat hierbij om state-of-the-art analytische faciliteiten en experimentele opstellingen, netwerken van veldinstrumenten (bijvoorbeeld seismische monitoring of atmosferische sensors), waarnemingsplatforms (satellieten, vliegtuigen, observatoria), databases, ICT en modelleringsfaciliteiten, faciliteiten voor diepe of specialistische boringen op land en op zee, etc. De aanschaf- en operationele kosten van dergelijke faciliteiten zijn veelal te hoog om door een enkel instituut of zelfs door een enkel land gedragen te worden.

De Nederlandse aardwetenschappen beschikken al over uitstekende faciliteiten, o.a. op het gebied van:

- Geochemie en isotopen-analyse, inclusief dateringen (VU, UU, RUG, UvA, Utwente);
- Experimentele gesteente-fysica (VU, UU, TUD)
- Geomechanica (TUD, Deltares); seismic wave propagation; fluid propagation (TUD)
- Experimentele opstellingen voor het bestuderen van tektonische en sedimentologische processen (UU);
- Experimentele opstellingen voor het bestuderen van erosie processen in het landschap (UvA, WUR)
- 3D/4D modellering (VU, UU, TUD, TNO);
- Databases (TNO, KNMI);
- Netwerken voor seismische monitoring (KNMI, TUD, UU)
- Netwerken voor atmosferische observaties (KNMI, VU, RUG)
- Instrumentatie en laboratoria voor spectrometrische analyse ten behoeve van geologische remote sensing (Utwente)
- Advanced imaging technieken (UU, met VU-Naturalis)
- Marien onderzoek (NIOZ). Vrijwel alle zeegaande faciliteiten van NL worden beheerd op het NIOZ, waarbij zij ook de technische expertise voor universitaire groepen leveren.

- Nederlands Centrum voor Luminescentie Datering (WUR)
- Kraijenhof van de Leur Laboratorium met experimentele faciliteiten voor procesonderzoek naar o.a. bodemerrosie, landdegradatie en ecohydrologie (WUR)
- Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem (WUR)

Daarnaast spelen de Nederlandse Aardwetenschappen een belangrijke – en vaak zelfs leidende - rol in een aantal grootschalige Europese en internationale infrastructuurprogramma's:

- Het European Plate Observatory System (EPOS)
- Het Integrated Carbon Observatory System (ICOS)
- EuroPlanet (netwerk van laboratoria voor planetair onderzoek)
- De European Multidisciplinary Seafloor Observatory (EMSO)
- LifeWatch: E-Science European Infrastructure for Biodiversity and Ecosystems Research
- De European Carbon Dioxide ND Storage Laboratory Infrastructure (ECCSEL)
- Het Integrated Ocean Drilling Programme (vanaf 2013: International Ocean Discovery Programme; IODP) en het International Continental Scientific Drilling Programme (ICDP)

Daarnaast doen universiteiten ook langjarig onderzoek in proefvelden en inventariseert WUR momenteel dergelijke long-term study sites en de daarbij verzamelde informatie ten behoeve van bredere disseminatie en samenwerking. Om deze leidende rol vast te kunnen houden zijn voortdurende investeringen nodig in nieuwe faciliteiten en updates van bestaande faciliteiten. De Agenda 2020 vraagt hierbij met name aandacht voor:

- Behoud, versterkingen en toegankelijkheid van national data- en informatiebestanden, inclusief aandacht voor uitwisseling van software en voor standaardisering ten behoeve van de uitwisselbaarheid van data en modellen;
- Gezamenlijke ontwikkeling - inclusief het vaststellen van specificaties van bijvoorbeeld analytische apparatuur – en beheer / gebruik van faciliteiten;
- Het inrichten van observatoria om op karakteristieke locaties aardkundige processen integraal te bestuderen (critical zone observatories, LTER);
- Versterken van deelname aan Europese infrastructurele voorzieningen.

Eerste stappen ter implementatie van de bovenstaande aanbevelingen zijn inmiddels gezet door de indiening van twee voorstellen in de recente NWO ronde “Nationale Roadmap Grootschalige Faciliteiten” die 31 augustus 2011 sloot: Netherlands Solid Earth Observatory (NSEO) en ICOS-NL, de Nederlandse bijdrage aan het Integrated Carbon Observatory System. Beide voorstellen hebben een directe link met grootschalige infrastructuur op de Europese ESFRI-Roadmap: - ICOS-NL met ICOS en NSEO met EPOS (European Plate Observatory System). Bovendien zijn beide voorstellen er op gericht om in deze onderzoeksgemeenschappen –

de climate change gemeenschap (ICOS) en de Solid Earth gemeenschap (EPOS) - een leidende rol te kunnen (blijven) spelen.

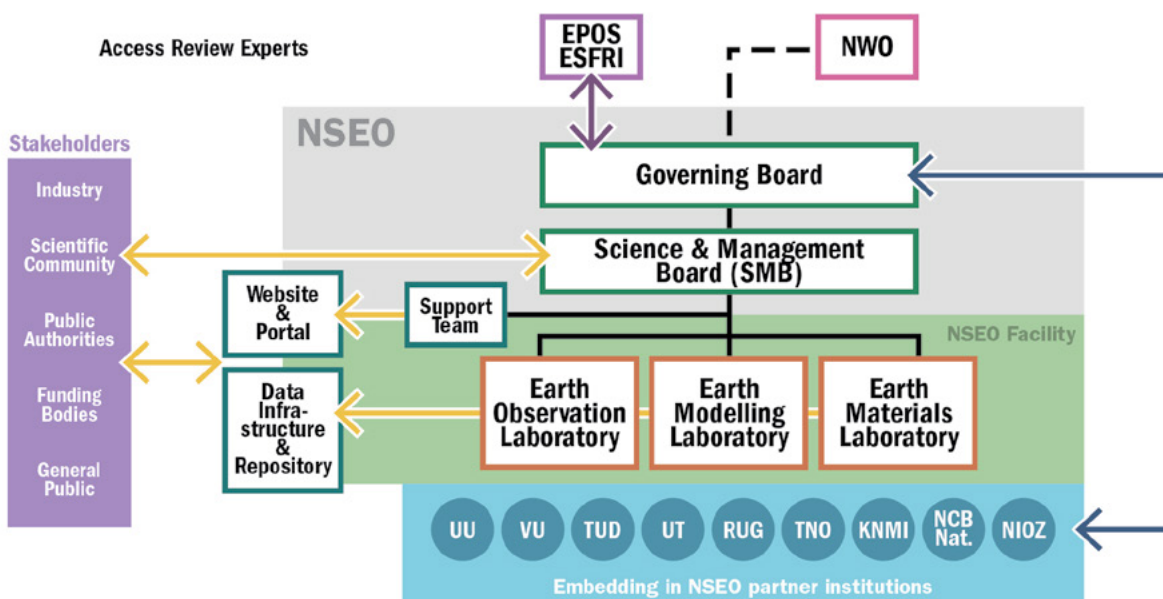
Beide projectvoorstellen zijn goed beoordeeld, en toegevoegd aan de Nationale Roadmap Grootschalige infrastructuur. Helaas is echter aan beide voorstellen door de Nederlandse overheid geen financiering toegekend. Een belangrijk onderdeel van beide voorstellen is het samenbrengen van al bestaande infrastructuur – laboratoria, monitoring-netwerken, ICT-faciliteiten en databases – in één gezamenlijke, virtuele infrastructuur. Daarnaast is financiering aangevraagd voor de aanschaf van nieuwe apparatuur. Tussen de partners van NSEO is als onderdeel van de aanvraag een overeenkomst afgesloten over de toegankelijkheid tot elkaars infrastructuur. Een ander voorbeeld van succesvolle samenwerking op eigen initiatief is het Gezamenlijk Milieulaboratorium (GML) van de UU faculteit geowetenschappen, Deltares en TNO dat recentelijk op de Utrechtse campus is gebouwd. De Commissie juicht deze ontwikkelingen toe, en roept de aardwetenschappelijke gemeenschap op deze ontwikkelingen nog verder te versterken door:

- Een businessmodel op te stellen voor het faciliteren van wederzijdse toegankelijkheid tot analytische en experimentele apparatuur en observatoria;
- Toegang tot en standaardisering van onderzoeksresultaten, data, meetreeksen en software te garanderen;
- Gezamenlijke regie te voeren met betrekking tot vervanging en aanschaf / prioritering van nieuwe apparatuur, inclusief het gezamenlijk opstellen van specificaties.

Daarnaast ziet de commissie kansen om in te zetten op “Nederland als natuurlijk observatorium”. De kennis van de Nederlandse ondergrond is uitermate gedetailleerd, mede door de intensieve exploratie en productie van olie en gas, maar ook door jarenlange investeringen in het opbouwen van een nationale, geharmoniseerde database van de ondergrond (DINOLoket: Data en Informatie van de Nederlandse Ondergrond, beheerd door de Geologische Dienst Nederland – TNO). Met het aan de LOFAR radiotelescoop gekoppelde netwerk van seismische sensoren beschikt Nederland over een uniek instrument om de bewegingen in de aardkorst in zeer groot detail te monitoren.

AANBEVELINGEN

- Stel een “nationale roadmap voor aardwetenschappelijke infrastructuur” op.
- Stem specificaties voor nieuwe infrastructuur af tussen universiteiten, onderzoeksinstituten en bedrijfsleven.
- Stel een businessplan om de wederzijdse toegankelijkheid tot analytische en experimentele apparatuur, observatoria, meetreeksen en software te garanderen.



Figuur 6: NSEO is een gedistribueerde infrastructuur waarin alle bestaande infrastructuur (laboratoria, databases, ICT-faciliteiten, monitoring-apparatuur) op het gebied van de Solid Earth Sciences worden gedeeld.

CONCLUSIES, AANBEVELINGEN EN IMPLEMENTATIE

Ter implementatie van het uitvoeringsplan worden de volgende actielijnen voorgesteld:

Doelstelling 1

BEHOUD EN VERSTERKING VAN EXCELLENTIE EN DE HUIDIGE POSITIE IN HET INTERNATIONALE ONDERZOEKSVELD.

- Vergroot de ruimte voor ongebonden wetenschappelijk onderzoek (open competitie) in de aardwetenschappen.

Doelstelling 2

BACHELOR-, MASTER-, EN PHD OPLEIDINGEN ZO INRICHTEN DAT ZE IN KWALITATIEF HOOGWAARDIG ONDERWIJS EN ONDERZOEK KUNNEN BLIJVEN VOORZIEN, VOLDOENDE AANTREKKELIJK BLIJVEN VOOR DE STUDENT (MINIMAAL BESTENDIGEN VAN DE HUIDIGE INSTROOM), VOLDOEN AAN DE EISEN DIE HET AFNEMENDE VELD STELT, EN ZO EFFICIËNT MOGELIJK GEBRUIK MAKEN VAN DE BEPERKT BESCHIKBARE MIDDELEN.

- Maak een goede analyse van de achtergrond van de toegenomen instroom, en de verwachte ontwikkelingen in de komende 5-10 jaar.
- Besteed expliciet aandacht aan de werving van buitenlandse studenten (engelstalige curricula; werving in het buitenland; samenwerking met buitenlandse universiteiten).
- Versterk de samenwerking tussen universiteiten, onderzoeksinstituten, bedrijfsleven en beroepsverenigingen bij het onder de aandacht brengen van aardwetenschappelijke onderzoeksresultaten bij een breed publiek.
- Neem outreach-activiteiten ook op in de functieomschrijving van actieve wetenschappelijk medewerkers (naast onderwijs, onderzoek en organisatorische taken);
- Creeer in grote onderzoeksprojecten standaard een

integrale component voor outreach-activiteiten (bijv. 1-2% van het onderzoeksbudget).

- Bachelor: Handhaaf een goede balans tussen 'klassieke' aardwetenschappelijke opleidingen, technische aardwetenschappelijke opleidingen en brede opleidingen met een aardwetenschappelijke component (zoals Future Planet Studies en Aarde en Economie).
- Master: Het model van een beperkt aantal (1-3) brede Master-opleidingen per instelling met daarbinnen specialistische tracks wordt gezien als een goed model. Zorg daarbij echter wel voor goede balans tussen breedte, diepte en efficiëntie.
- Stel specialistische cursussen open voor alle geïnteresseerde studenten in Nederland.
- Onderzoek eventuele bestaande belemmeringen voor studenten om specialistische cursussen aan andere universiteiten te volgen en mee te laten tellen voor het eigen curriculum.
- Overweeg om specialistische cursussen daadwerkelijk gezamenlijk aan te bieden.
- Maak beroepsprofielen beter zichtbaar in de opleidingen en informeer studenten specifiek – in samenwerking met het bedrijfsleven, bijvoorbeeld via loopbaandagen – op keuzemomenten (bachelor naar master, master naar PhD) over door het bedrijfsleven gewenste profielen.
- Voorkom witte vlekken in het onderwijslandschap.
- Stem de beoordelingssystematiek voor afstudeeronderzoek/theses af tussen de universiteiten.

Doelstelling 3

DE DOORSTROOM VAN STUDENTEN TUSSEN DE VERSCHILLENDE OPLEIDINGEN VEREENVOUDIGEN.

- Ontwikkel Minoren in aansluiting op de sterktes in onderzoek van de faculteit, die het mogelijk maken voor een bachelorstudent van de ene universiteit om over te stappen naar een master in een andere universiteit.
- Minoren moeten ook de toegang van studenten uit aanpalende studies naar een master aardwetenschappen vergemakkelijken.
- Zorg voor duidelijkheid bij studenten over (zij-) instroomeisen in de Master, en zorg voor goede ondersteuning om studenten in staat te stellen aan deze eisen te voldoen.
- Besteedt specifiek aandacht aan buitenlandse zij-instromers.

Doelstelling 4

VERSTERKING VAN AFSTEMMING VAN ONDERZOEK EN HET HIERBIJ BETROKKEN MASTER- EN PHD-ONDERWIJS OP NATIONAAL NIVEAU.

- Onderzoek de mogelijkheid voor het creëren van één nationaal onderzoeksplatform in de aardwetenschappen dat zorgdraagt voor oa:
 - Nationale afstemming, bijvoorbeeld met betrekking tot het faciliteren van zij-instroom in de Master met behoud van diepgang;
 - Profileren van de onderzoeksveld naar de buitenwereld;
 - Het verzorgen van specialistische cursussen,

- toegankelijk voor alle PhD's;
- Het opzetten van een op alle universiteiten erkend systeem van studiepunten voor het volgen en geven van cursussen door promovendi.
- Maak een verdere analyse van de witte vlekken problematiek. Het voorgestelde nationale platform Aardwetenschappen kan hier een belangrijke rol vervullen.

Doelstelling 5

VERBETERING VAN ONDERZOEK EN ONDERWIJS DOOR VERSTERKEN VAN DE AANSLUITING BIJ HET MAATSCHAPPELIJKE VELD.

- Zoek naar concrete oplossingen voor ontstane witte vlekken. Werk hier in samen met onderzoeksinstituten en het bedrijfsleven.
- Geef het voorgestelde nationale platform Aardwetenschappen een belangrijke rol in het positioneren van aardwetenschappen in het onderzoeksbeleid, zoals de topsectoren en de lobby naar Horizon 2020.

Doelstelling 6

STIMULEREN VAN NATIONALE AFSTEMMING VOOR DE ONTWIKKELING VAN DE AARDWETENSCHAPPELIJKE ONDERZOEKSINFRASTRUCTUUR.

- Stel een "nationale roadmap voor aardwetenschappelijke infrastructuur" op.
- Stem specificaties voor nieuwe infrastructuur af tussen universiteiten, onderzoeksinstituten en bedrijfsleven.
- Stel een businessplan op om de wederzijdse toegankelijkheid tot analytische en experimentele apparatuur, observatoria, meetreeksen en software te garanderen.

Implementatie

REALISATIE

1. We stellen voor om een Nationaal Platform Aardwetenschappen Nederland (AardNed) te vormen. Dit bottom-up gedreven netwerk heeft een coördinerende, brugvormende en faciliterende functie in het aardwetenschappelijk onderzoeksveld in Nederland. Taken van het platform zijn:

- Stimulering en kennisverspreiding op aardwetenschappelijk terrein. Dit betreft niet alleen burgers en journalisten, maar ook bedrijven en instellingen. Dit nationaal platform fungeert dan als valide 'zoekmachine' tussen kenniszoekers en de wetenschappers *[doelstelling 2 en 5 van het uitvoeringsplan Agenda 2020]*.
- Faciliteren van afstemmend overleg tussen aardwetenschappelijke opleidingen en onderzoeksgroepen met betrekking tot inrichting van het onderzoek en onderwijs aan de universiteiten, en het faciliteren van de doorstroom van studenten *[doelstelling 2, 3 en 4 van het uitvoeringsplan Agenda 2020]*.

- Landelijke coördinatie en facilitering van gebruik van onderzoeksfaciliteiten bij andere instellingen. Er zijn grootschalige voorzieningen die intensiever gebruikt kunnen worden als er fondsen specifiek voor operationeel houden van deze faciliteiten beschikbaar worden gesteld *[doelstelling 6 van het uitvoeringsplan Agenda 2020]*.
- Het faciliteren van duurzame aardwetenschappelijke data-archivering. Data, met publieke middelen vergaard, zouden zoveel mogelijk vrij beschikbaar moeten zijn voor zowel internationale wetenschap, bedrijfsleven en andere maatschappelijke partijen. Gezien de complexiteit van de datasets vergt dit expertise *[doelstelling 6 van het uitvoeringsplan Agenda 2020]*.
- De organisatie van een te vernieuwen, jaarlijks Nederlands Aardwetenschappelijk Congres. Op dit moment is deze conferentie twee-jaarlijks met incidentele financiering, en is deelname beperkt tot de academische instellingen. Deze jaarlijkse bijeenkomsten zouden over de volle breedte van aardwetenschappen moeten gaan, zoals de internationale congressen EGU en AGU, en ook aantrekkelijk moeten zijn voor de afnemende velden. Daarbij zou in aanpalende workshops kennisoverdracht gekanaliseerd kunnen worden, en zou als gestructureerde outreach in een nieuwspoot actualiteiten door experts kunnen worden geduid. Tenslotte leent dit congres zich ook voor efficiënte coördinatie ten behoeve van faciliteiten en van data. Dit vergt organisatorische facilitering *[doelstelling 2-6 van het uitvoeringsplan Agenda 2020]*.
- Ontwikkelen van gebiedsbrede initiatieven, zoals de positionering van Nederland als Observatorium NL.

Door een investering in een dergelijke aardwetenschappelijk platform kunnen bestaande faciliteiten intensiever worden gebruikt, gegenereerde data beschikbaar worden gesteld aan een breder publiek, kan aardwetenschappelijk kennis beter worden geduid voor de maatschappij en kan de interactie tussen kennisproducent en kenniszoeker worden geïntensiveerd *[doelstelling 1-6]*.

Tijdpad

DECEMBER 2015

- Afronden Uitvoeringsplan Agenda 2020 en bijbehorend charter
- Vaststellen samenstelling en overlegstructuur AardNed Platform

APRIL 2016

- Plan van Aanpak AardNed Platform
- Publieke lancering AardNed Platform (NAC 12)

NAJAAR 2016

- Aanbieden charter en uitvoeringsplan aan ministerie OCW

2^E HELFT 2016

- Aardwetenschappelijk Platform website online
- Uitgewerkte agenda 2017-2020

APRIL 2017

- Eerste NAC nieuwe stijl

APPENDIX I: AGENDA 2020: VISIE OP HET AARD- WETENSCHAPPELIJKE WETENSCHAPSVELD

Medio 2011 heeft de KNAW het rapport “Agenda 2020, visie op het Aardwetenschappelijke Wetenschapsveld” uitgebracht. Het rapport, voorbereid door een breed samengestelde werkgroep onder auspiciën van de Raad voor Aard- en Levenswetenschappen (RAL-KNAW), biedt een visie op de wegen die we in Nederland de komende periode zouden moeten bewandelen op het terrein van de aardwetenschappen.

De Agenda 2020 schetst de belangrijke bijdrage die aardwetenschappelijke kennis kan leveren aan een duurzame samenleving:

- Oplossingen voor schaarste aan energie, grondstoffen en ruimte;
- Kennis over de invloed van klimaatverandering op mens, natuur en ecosysteemdiensten nodig om klimaatvraagstukken aan te pakken;
- Kennis over water- en bodemproblematiek in laaggelegen kust- en deltagebieden;
- Kennis over veiligheidsaspecten die samenhangen met bovengenoemde trends en andere risico's die hun oorsprong vinden in processen of condities in het systeem aarde.

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 Nederlandse Aardwetenschappen zijn goed georganiseerd, en in het rapport Wetenschaps- en technologie-indicatoren behoren Aardwetenschappen en

technologie anno 2010 tot de mondiale top vijf. De Agenda 2020 vraagt echter aandacht voor enkele belangrijke uitdagingen waarmee de Nederlandse Aardwetenschappen de komende jaren worden 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.

Om deze uitdagingen het hoofd te bieden worden in de Agenda 2020 de volgende aanbevelingen gedaan:

A Universiteiten dienen onderwijs en onderzoek te versterken door:

- Het verstevigen en uitbouwen van de relatie met andere opleidingen in de natuurwetenschappen, onder andere door meer aandacht te schenken aan deze gebieden in de bachelor opleiding;
- Aardwetenschappen een stevige plaats te geven in brede bachelor opleidingen;
- Een nationaal leerstoelenbeleid dat ruimte biedt aan (nieuwe) deelgebieden die van belang zijn in het kader van de internationale toekomstige ontwikkelingen in de Aardwetenschappen, en een vergroting van de diversiteit van het personeelsbestand, in samenwerking met kennisinstellingen en bedrijfsleven. Hierbij dienen vooral focus en massa de aandacht te krijgen, want die zijn van belang voor een (toekomstig) draagvlak;
- Schaalvergroting en verbetering van vooral de Masteropleidingen voor verbetering van het studierendement en het scheppen van een omgeving waarin excellentie kan opbloeien;
- Ontwikkelen en versterken van specialistische kennis en vaardigheden die essentieel zijn om toekomstige maatschappelijke uitdagingen adequaat te adresseren;
- Openstelling van masteropleidingen voor alle geïnteresseerde Masterstudenten in Nederland;
- Behoud van coördinatie van onderwijs en onderzoek binnen Nederland door middel van versterking van nationale onderzoeksscholen.

B Universiteiten, kennisinstellingen 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;
- Bouwen en beheren van gezamenlijke nationale faciliteiten voor moderne observatie- en analysetechnieken, modellering en scenario-ontwikkeling en geotechniek;
- Versterking van deelname aan Europese infrastructurele voorzieningen.

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;
- Vergroten van de betrokkenheid van de samenleving.

Ook wordt aanbevolen om aan het rapport een concreet vervolg te geven door diverse punten nader te laten uitwerken door een commissie die in samenwerking met de stakeholders - de betrokken universiteiten en kennisinstellingen en het Nederlandse bedrijfsleven - een concreet uitvoeringsplan opstelt.



APPENDIX II: THEMA'S

In de Agenda 2020 worden vier centrale thema's voor aardwetenschappelijk onderzoek in Nederland gedefinieerd. Deze thema's vormen een geschikte basis om:

- Voort te bouwen op aanwezige excellentie;
- Focus en massa te creëren op basis van deze expertise;
- Aan te sluiten op bij het topsectorenbeleid en Europese / internationale onderzoeksprogrammering.

Om deze doelstellingen te realiseren is het wel noodzakelijk om keuzes te maken: het versterken en concentreren op excellent en belangrijk onderzoek impliceert tegelijkertijd het afbouwen of ombuigen van zwakker en minder belangrijk onderzoek.

Hieronder worden de 4 onderzoeksthema's uit de Agenda 2020 opnieuw kort beschreven. Vervolgens wordt aangeduid waar binnen elk van de thema's de kennis momenteel geconcentreerd is, welke samenwerkingsverbanden er al zijn, en hoe het thema aansluit bij de topsectoren en onderdelen van het Horizon 2020. Ook wordt aangegeven – indien van toepassing – welke grootschalige infrastructuur voor het thema van belang is.

Thema Schaarste

BESCHRIJVING

Overexploitatie van **natuurlijke bestaansbronnen** leidt tot schaarste. Dat beperkt zich niet tot fossiele brandstoffen (zie volgende paragraaf). 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.

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 CO₂.

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 zoetwatervoorcomens, de afbraak van afvalstoffen en de natuurlijke kustverdediging door schorren, slikken en duinen. Hoewel we inmiddels zijn doordrongen van het belang van **ecosysteemdiensten**, 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 ecosysteemdiensten. Op basis van die kennis zouden bijvoorbeeld landeigenaren een vergoeding kunnen ontvangen voor het faciliteren van deze diensten.

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.

ANALYSE

Het onderzoek naar exploratie en productie van **grondstoffen** in de diepere ondergrond, (met name olie & gas, maar ook minerale grondstoffen), alsook naar winning van industriële grondstoffen (aggregaten) is traditioneel geconcentreerd aan de TUDelft. Daar wordt ook onderzoek gedaan naar remote sensing methoden. Daarnaast wordt ook relevant onderzoek gedaan aan de UU (aardse materialen) en de VU. Relevant onderzoek van andere onderzoeksinstituten concentreert zich met name bij TNO.

Het aardwetenschappelijk onderzoek in Nederland heeft traditioneel een sterke focus op olie & gas winning, en veel minder op de winning van andere minerale grondstoffen, met name door een beperkt voorkomen van dergelijke grondstoffen op Nederlands grondgebied (met een uitzondering voor zout en aggregaten). Toch zijn er op dit gebied wel degelijk uitdagingen (met name de chemische en technische industrie (topsectoren chemie en HTSM zijn afhankelijk van voldoende beschikbaarheid van grondstoffen) en kansen (transportfunctie van het Rotterdams Havengebied, offshore industrie) voor de Nederlandse industrie.

Binnen de topsector Water is er aandacht voor "duurzame energie- en grondstoffenwinning op zee". De huidige uitwerking van dit thema richt zich met name op de Nederlandse offshore-industry. De commissie beveelt aan om de mogelijkheid te onderzoeken hier nauwer bij aan te sluiten.

In EU verband is er veel aandacht voor onderzoek naar de aanwezigheid van grondstoffen op het Europese grondgebied, middels het Raw Materials Initiative en de societal challenge "Climate Action, Resource Efficiency & Raw Materials" van het Horizon 2020 programma. Hier liggen kansen voor de Nederlandse aardwetenschappen, die momenteel slechts in beperkte mate worden benut.

Onderzoek naar **beheer van de ondergrond** concentreert zich bij de Geologische Dienst Nederland TNO en de WUR (Alterra). Ook Deltares speelt hier een rol, met name waar het onderzoek betrekking heeft op grondwater. Gezien het toenemende belang van ruimtelijke ordening in de ondergrond ligt hier ruimte voor nieuwe samenwerkingsverbanden.

Aardwetenschappelijk onderzoek naar ecosysteemdiensten en de biobased economy vindt plaats aan de WUR (Environmental Sciences), UvA (Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics), VU (Earth Science and Economics; Institute for Environmental Science), UU (Environmental Geosciences). Gezamenlijk onderzoek en graduate onderwijs tussen deze en andere, niet-aardwetenschappelijke groepen vindt plaats binnen de Research School for Socio-Economic and Natural Sciences of the Environment (SENSE).

Thema Duurzame Energievoorziening

BESCHRIJVING

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 zonnearmte, 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.

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.

ANALYSE

Het onderzoek naar exploratie en productie van fossiele brandstoffen is traditioneel geconcentreerd aan de TUDelft. Relevant onderzoek wordt ook gedaan aan de UU (bijv. sedimentary basin evolution) en de VU (bijv. carbonate sedimentology).

Belangrijke kennis is ook aanwezig op het gebied van "Induced seismicity": Seismiciteit als gevolg van olie- en gaswinning, opslag van CO₂ en aardgas, en winning van geothermische energie. Dit onderzoek is vooral ook van belang in de huidige discussie over haalbaarheid en wenselijkheid van de winning van onconventionele gasvoorraden, zoals schaliegas. Hier liggen kansen voor het Nederlandse onderzoeksveld, mede omdat de zeer gedetailleerde kennis van de Nederlandse ondergrond ons land uiterst geschikt maakt om te gebruiken als 'natuurlijk laboratorium'.

Bestaande samenwerkingsverbanden zijn:

- DELPHI: Onderzoek naar geo-imaging technologieën voor de olie & gas industrie.. [TUDelft; TNO; gesponsord door 32 Olie en Gas bedrijven].
- Integrated System Approach Petroleum Production (ISAPP): Onderzoek naar het optimaliseren van olie- en gaswinning door toepassing van innovatieve reservoirontwikkelings en management technologieën [TUDelft; TNO; Shell].

Tijdens de interviewronde van de commissie met vertegenwoordigers uit het bedrijfsleven gaven vertegenwoordigers uit de olie- en gaswereld meermaals te kennen behoefte te hebben aan een veel sterkere natuurwetenschappelijke basis voor met name het geofysische onderzoek en onderwijs in Nederland. Er werd gesuggereerd hiervoor nauwere banden te leggen met bestaande excellente groepen in de wis- en natuurkunde in Nederland; bijvoorbeeld tussen technische aardwetenschappen in Delft en Fysica in Leiden. De FOM heeft te kennen gegeven hier ook interesse in te hebben, en is bereid een bemiddelende / aanjagende rol te spelen. De commissie beveelt aan om de mogelijkheden hiertoe verder te onderzoeken.

Onderzoek naar **Geothermische Energie** wordt uitgevoerd aan de TUDelft, UU, VU, RUG en TNO. Samen met verschillende bedrijven participeren deze onderzoeksinstellingen in het Nationaal Onderzoek Programma Geothermie (NOPG). Er is een groot aantal bedrijven in Nederland actief op het gebied van geothermische energie (zowel winning van diepe geothermische warmte en energie als Warmte-Koude Opslag (WKO)). Deze bedrijven hebben zich verenigd in het Platform Geothermie.

Op het gebied van afvang, transport en opslag van CO₂ bestaat er een groot nationaal onderzoeksprogramma, CATO/CATO-2 waarin een groot aantal universiteiten, onderzoeksinstellingen en bedrijven deelneemt. Uniek aan dit samenwerkingsverband is dat het alle aspecten van 'CCS' (Carbon Capture, Transport and Storage) onderzoekt: geologische, technische en sociaal-wetenschappelijke (acceptatie) langs de hele keten van afvang, transport en opslag. Aardwetenschappelijk onderzoek binnen CATO/CATO-2 wordt uitgevoerd door de TUDelft, UU, VU, RUG en TNO.

Dit onderzoek sluit aan bij de **Topsector Energie** (met name het innovatiecontract Gas) en de Societal Challenge "**Secure, Clean and Efficient Energy**" van het EU Horizon 2020 programma.

Thema Klimaat en Water

BESCHRIJVING

Klimaatscenario's zullen zeker de komende tien jaar veel aandacht krijgen, mede omdat veel fundamentele vragen rondom de **werking van het klimaatstelsel** nog niet beantwoord zijn. Daarbij gaat het om vragen als, welke factoren van invloed zijn op de variabiliteit van het klimaatstelsel, 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.

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 zwaartekrachteffecten, 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.

ANALYSE

In Nederland wordt onderzoek van zeer hoog niveau uitgevoerd binnen dit thema. Er zijn een aantal specifieke sterktes. Op het gebied van **monitoring van broeikasgassen** spelen Nederlandse onderzoekers een centrale rol in de totstandkoming van het Integrated Carbon Observation System (ICOS). Dit is netwerk van observatoria van broeikasgassen (CO₂, CH₄ en N₂O) in de atmosfeer, de oceanen en ecosystemen. In de NWO-ronde "Nationale Roadmap grootschalige onderzoeksinfrastructuur" van 2011 is een voorstel voor een Nederlandse ICOS-component (ICOS-NL) ingediend door de VU, RUG, ECN, WUR, Alterra, UU, KNMI en SRON. Het voorstel is op de nationale roadmap geplaatst; echter zonder dat hier financiële middelen aan zijn gekoppeld.

Rond het paleo-klimaat, en met name paleo-klimaat proxies, zijn er sterke groepen aan de UU, de VU, en aan het NIOZ. Binnen het Darwin Centre for BioGeosciences wordt op dit gebied samengewerkt. Ook isotopengeologisch onderzoek speelt hier een belangrijke rol, en Nederlandse universiteiten beschikken over state-of-the-art faciliteiten op dit gebied.

Onderzoek (onder andere experimenteel petrologisch en isotopengeochemisch) naar de evolutie van buitenaardse planetaire systemen vindt plaats aan de VU. De petrologie-groep participeert in de EUROPLANET onderzoeksinfrastructuur, een netwerk van laboratoria en andere faciliteiten waar planetair materiaal wordt onderzocht.

Het onderzoek naar globale biosystemen is een belangrijk onderwerp aan de WUR en de UvA. Ook het KNMI speelt hierin een belangrijke rol.

Het onderzoek naar de interactie tussen klimaat en water vindt op alle universiteiten plaats, en ook bij kennisinstellingen als het NIOO, NIOZ, Deltares, UNESCO-IHE en het KNMI.

Dit onderzoek sluit aan bij de topsector Water (innovatiecontract Deltatechnologie) en de Societal Challenge "Climate Action, Resource Efficiency, incl. Raw Materials" van het EU Horizon 2020 programma.

Thema Natuurrampen

BESCHRIJVING

Onze fysieke – en bijgevolg ook onze sociale omgeving – verandert als gevolg van natuurrampen. Voor een deel gaat het daarbij om **autonome processen** binnen het Systeem 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.

ANALYSE

De toponderzoekschool ISES heeft een pionierende rol gespeeld in het "geïntegreerd vaste aarde onderzoek": het bij elkaar brengen van onderzoekers uit een groot aantal deeldisciplines in zogenaamde "natuurlijke laboratoria"

waar geologische processen op verschillende ruimte- en tijdschalen worden onderzocht. Doel van dergelijk onderzoek is te komen tot een beter begrip van de uitwerking van plaattektonische processen op menselijke ruimte- en tijdschalen, en daarmee te komen tot een betere inschatting van de risico's op het voorkomen van natuurrampen. Het werk van ISES heeft aan de basis gestaan van een aantal grote Europese onderzoeksinitiatieven, zoals het ESF EUROCORES programme TOPO-EUROPE en de ESFRI onderzoeksfaciliteit EPOS (European Plate Observatory System).

Net als voor ICOS is ook voor EPOS en Nederlandse component ingediend in de NWO-ronde "Nationale Roadmap grootschalige onderzoeksinfrastructuur" van 2011: het Netherlands Solid Earth Observatory (NSEO). Deelnemers aan NSEO zijn de UU, VU, UT, TUDelft, RUG, KNMI, NIOZ, TNO en Naturalis. Ook deze aanvraag is op de nationale roadmap geplaatst, maar heeft geen financiering ontvangen. Wel is door de partners binnen NSEO en samenwerkingsovereenkomst getekend waardoor de partijen tegen eenvoudige en gunstige condities gebruik kunnen maken van elkaars onderzoeksfaciliteiten.

In het onderzoek naar natuurrampen speelt aardobservatie vanuit de lucht en ruimte een belangrijke rol; Vooral TUDelft en de UTwente zijn op dit gebied actief.

LIJST VAN GEBRUIKTE AFKORTINGEN

ALW	Aard- en Levenswetenschappen
BRIC	Brazilië, Rusland, India en China
ECN	Energieonderzoek Centrum Nederland
EPOS	European Plate Observing System
ESFRI	European Strategy Forum on Research Infrastructures
ICOS	Integrated Carbon Observation System
ISES	Netherlands Research Centre for Integrated Solid Earth Science
KNAW	Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
NIOO	Nederlands Instituut voor Ecologie
NIOZ	Nederlands Instituut voor Zeeonderzoek
NWO	Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek
OCW	Onderwijs, Cultuur en Wetenschap
QANU	Quality Assurance Netherlands Universities
RAL	Raad voor Aard- en Levenswetenschappen
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RUG	Rijksuniversiteit Groningen
RUN	Radboud Universiteit Nijmegen
SRON	Stichting Ruimte-Onderzoek Nederland
TU Delft	Technische Universiteit Delft
UNESCO-IHE	Institute for Water Education
UTwente	Universiteit Twente
UU	Universiteit Utrecht
UvA	Universiteit van Amsterdam
VU	Vrije Universiteit Amsterdam
WKO	Warmte Koude Opslag
WUR	Wageningen Universiteit en Research Centre

