

Exemplarische Route 4

De oorsprong van het leven - op aarde en in het heelal

Wetenschappelijke uitdaging

Doel, belang en urgentie

De Nationale Wetenschapsagenda richt zich op centrale vragen die leven binnen de Nederlandse samenleving omtrent ziekte, gezondheid, leven, de inrichting van de samenleving, technologische innovatie en het duurzaam omgaan met onze leefomgeving.

De exemplarische route 4 over "De oorsprong van het leven - op aarde en in het heelal" is gericht op fundamentele vragen die voortkomen uit de nieuwsgierigheid van vele mensen naar het ontstaan, het functioneren en de toekomst van leven in een continu veranderende omgeving. Vragen zoals "Waar komen we vandaan?", "Waar gaan we naartoe?" en "Is er elders leven in het heelal?" maar ook de meer toegepaste consequenties van deze vragen, zowel op korte als op lange termijn. Het beantwoorden van dergelijke vragen vereist nieuwe wetenschappelijke en technologische doorbraken en een schaaloverschrijdende en transdisciplinaire aanpak. In Route 4 bundelen de meest betrokken wetenschapsgebieden, astronomie, aardwetenschappen, biologie, chemie, informatica, fysica en wiskunde voor het eerst hun krachten tot het realiseren van game-changing onderzoek. We kiezen voor een innoverende opzet die allerlei nieuwe dwarsverbanden mogelijk maakt tussen leven in het universum, de vorming en ontwikkeling van de aarde en de oorsprong en ontwikkeling van leven tot het maken van synthetisch cellen, het voorspellen van evolutie en het bouwen en sturen van leven en alles wat daartussen ligt. De discussies tussen de deelnemende partijen in Route 4 hebben geleid tot concrete gezamenlijke plannen die gekenmerkt worden door een grote mate van wetenschappelijk synergie.

Fundamenteel onderzoek is het vuur onder de ketel van de toepassing. Het door nieuwsgierigheid gedreven onderzoek naar de fundamentele van leven levert volop kansen op verrassende en baanbrekende toepassingen. Fundamentele kennis over het ontstaan, de evolutie en het functioneren van leven in alle mogelijke vormen is essentieel voor toepassingsgerichte vragen over bijvoorbeeld detectie en behandeling van ziekten en over risico's van de voortdurende verandering van onze omgeving. Veel evolutionaire ontwikkelingen hebben we niet in de hand omdat we de complexe interacties tussen moleculen, cellen en organismen en hun interacties met hun omgeving nog onvoldoende kunnen voorspellen. Nieuwe ziekten worden overgedragen van dieren op mensen of veranderen snel in eigenschappen, bacteriën evolueren in toenemende mate resistentie tegen antibiotica, biologische systemen bezitten een inherente variabiliteit die het moeilijk maakt de functioneringseigenschappen te doorgronden. Lang niet alle planten- en diersoorten kunnen zich voldoende aanpassen aan de huidige snelheid van klimaatverandering, hetgeen zal leiden tot verlies aan biodiversiteit op de aarde met mogelijk grote consequenties voor de aantasting van belangrijke ecosysteemdiensten. Dit vraagt om inzicht in het aanpassingsvermogen van het leven van de moleculaire schaal tot de schaal waarop de mensheid en de biosfeer zich moet weren tegen mondiale natuurrampen. Daarmee levert deze route ook een cruciaal kennisfundament voor de exemplarische NWA routes 1, 2, 3, 6, 11, 12, 13 en 15. Onderzoek naar mogelijk buitenaards leven is technologisch zeer uitdagend en levert nu al een belangrijke spin-off voor andere, door geavanceerde en grootschalige technologie aangedreven routes, zoals 5, 9 en 10. Het beantwoorden van de vragen uit route 4 biedt een belangrijke versterking van het wetenschappelijk fundament van de topsectoren Life Sciences & Health, Chemie, HTSM, Agri & Food, Tuinbouw & Uitgangsmaterialen, en Water. Een belangrijk deel sluit ook aan bij topsector-overstijgende onderwerpen zoals geadresseerd in de NWO programma's "Bouwstenen van Leven" en "Gesloten kringlopen: Transitie naar een circulaire economie".

Het onderzoek in route 4 heeft een fundamenteel karakter maar zal breed bijdragen aan de verdere uitbouw van onze kenniseconomie. Route 4 verbindt op unieke wijze een aantal internationaal vooraanstaande Nederlandse groepen, nu sterk genoeg om samen het transdisciplinaire onderzoek te dragen. De verbindingen zullen de Nederlandse positie als mondiale speler op dit gebied verder uitbouwen en versterken. Toepassingen zijn te verwachten op middellange termijn, hetgeen in het algemeen buiten de investeringshorizon van het bedrijfsleven valt. Het is daarom uiterst urgent dat voor dit soort onderzoek een perspectief gecreëerd wordt waarop Nederland ook voor de toekomst haar exceptionele rol in de wetenschappelijk wereld kan uitbouwen. Het eerste middel is om een (vooralsnog virtueel) instituut voor het realiseren van gezamenlijke onderzoeksplannen op te richten. De

transdisciplinaire inspanning die alle betrokken deelnemers hier willen leveren toont meteen ook het internationaal unieke karakter van dit instituut.

Gamechanger

Vijf samenhangende wetenschappelijke kerndoelen vormen de basis voor de wetenschappelijke en culturele game-changer. Het betreft doorbraken in kennis ten aanzien van de diepe oorsprong van de aardachtige planeten en het leven op aarde; maar ook doorbraken over het leven zoals we het om ons heen zien veranderen, hoe we het kunnen wijzigen, hoe het zich in de toekomst zal ontwikkelen en hoe we deze kennis operationeel kunnen maken voor wetenschap en maatschappij. De route omvat vraagstellingen binnen onderzoeksvelden waarin Nederland internationaal toonaangevend is en waar een gezamenlijke agenda een zeer groot versterkend effect zal hebben.

Het ontstaan van de aarde en van het leven reconstrueren

Hiervoor zijn vijf belangrijke stappen nodig: - begrijpen hoe aardachtige planeten ontstaan en wat hun samenstelling is, - het begrijpen wanneer en onder welke omstandigheden daar leven ontstaat, - het begrijpen hoe, onder deze omstandigheden, het eerste leven is ontstaan uit een mengsel van moleculen - het begrijpen hoe daaruit complexe multicellulaire organismen ontstaan en functioneren en tenslotte het begrijpen hoe het ontwikkelende leven de omstandigheden op aarde veranderde, en hoe die veranderende omstandigheden vervolgens de toename van complexiteit van bouwstenen en netwerken van leven faciliteerden. Als de oorsprong van het leven en de toename van haar complexiteit werkelijk doorgrond wordt, biedt dit nieuwe kansen ten aanzien van toepassingen in ziekte, gezondheid, voedselproductie en duurzaamheid.

Evolutie van het leven voorspellen

Evolutie is een centraal mechanisme in het ontstaan en de ontwikkeling van het leven en de wisselwerking tussen leven en haar omgeving. Er zijn nieuwe diepe inzichten, dwarsverbanden maar ook technologieën nodig die het mogelijk maken om evolutie niet alleen terugkijkend te reconstrueren en te begrijpen maar ook te voorspellen. Dit vereist de formulering van een nieuwe synthese met meer recent ontdekte evolutionaire processen, zoals de dynamische terugkoppeling tussen organismen en hun omgeving en de overdracht van informatie aan nieuwe generaties. Een tweede vereiste is het inzicht in externe omstandigheden zoals de kans en aard van toekomstige planetaire rampen (grote vulkaanuitbarstingen, komeetinslagen, omkering aardmagnetisch veld). Als evolutie voorspeld kan worden, wordt het beter mogelijk ongewenste evolutionaire effecten zoals resistentie bij bacteriën en virussen, pesticideresistentie, ontstaan van nieuwe ziekten en plagen zoals Zika, tumorplasticiteit en zelfs de basis van conflicten tussen mensen te voorkomen.

Het leven van molecuul tot biosfeer bouwen en sturen

Om de werking van het leven te doorgronden hebben we kennis nodig op het vrijwel onontgonnen terrein van complexe en dynamische interacties tussen bouwstenen van het leven op een breed scala aan niveau's, te weten (bio)moleculen, cellen, organismen, ecosystemen en biosferen. Door het leven na te bouwen, bijvoorbeeld een "synthetische cel" te genereren uit niet-levende bouwstenen van biologische of synthetisch oorsprong kunnen we komen tot daadwerkelijk begrip rond de functionele werking van het leven. Dit alles vereist moderne technologieën en mathematische modellen. Als we door multi- en transdisciplinair en schaal-overschrijdend onderzoek leven gericht kunnen sturen, zal het mogelijk zijn om 'verstoorde' leven weer te herstellen: bijvoorbeeld door nieuwe synthetische cellen te bouwen, door specifieke interacties om te buigen en ziektes heel gericht te behandelen, of door nieuwe ecosystemen te ontwikkelen op plekken waar bestaande zijn verloren, sterk aangetast, of nog niet bestaan. Het maken van een synthetische cel zal een enorme wetenschappelijk doorbraak betekenen en een volledige controle over leven met zich meebrengen en daarmee een vooruitzicht op ongekende toepassingen. Daarnaast zal het maken van leven gebaseerd op een alternatieve biochemie een enorme impact hebben op het inzicht in de diversiteit van mogelijke levensvormen en de daaraan gekoppelde waarneembare indicatoren bij het zoeken naar buitenaards leven.

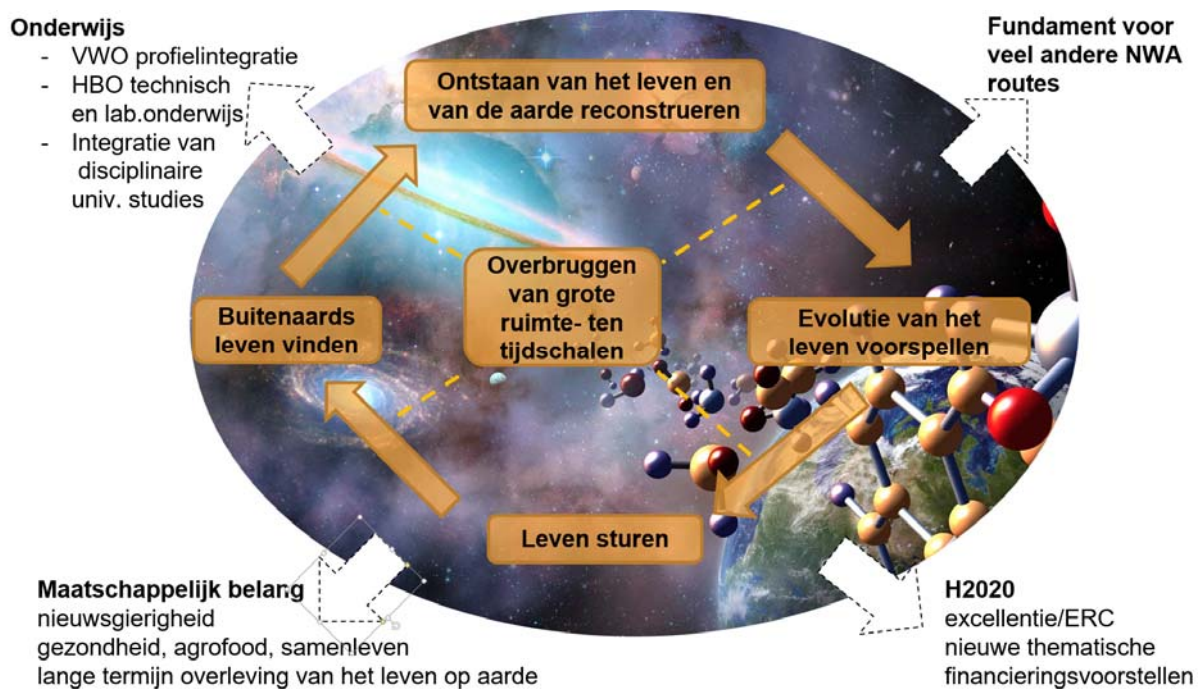
Buitenaards leven vinden

De beantwoording van de NWA clustervraag naar buitenaards leven betekent dat meer inzicht nodig is in het herkennen van kenmerkende planetaire omstandigheden en de bijhorende indicatoren voor buitenaards leven. Hiervoor is een nieuwe werkwijze nodig waarbij een palet aan wetenschappelijke

disciplines met elkaar samenwerkt en waar baanbrekende technologie ontwikkeld wordt. De ontdekking van leven op een andere planeet biedt aanknopingspunten voor begrip van onze eigen herkomst en zal enorme filosofische, religieuze en politieke consequenties hebben. Het levert bovendien ook een verdieping van de kennis van mogelijke chemische en fysische omstandigheden waarin aardse en kunstmatig leven kan bestaan.

Grote tijd- en ruimteschalen overbruggen

Voor de beantwoording van al deze vragen moeten we interacties en oorzakelijke verbanden tussen de componenten van cellen en organismen en hun omgeving interpreteren met een combinatie van nieuwe conceptuele, computationele en wiskundige methoden. Bovendien moeten we de bijbehorende grote stromen numerieke en experimentele big data combineren over de enorme reikwijdte van tijd- en ruimteschalen binnen deze route, van de fysische omstandigheden die het leven mogelijk maken, vanaf de vorming en evolutie van planeten naar molecuul, cel, organisme, ecosysteem, tot biosfeer.



Sterktes in Nederland en waarom in Nederland

Nederlands onderzoek is baanbrekend in de levens-, aard- en astrowetenschappen. Zo heeft Nederland, na Israël en Zwitserland, relatief het meeste succes in de competitie voor de ERC-gelden, gericht op individuele onderzoekers. De ERC is uitermate belangrijk voor dit type fundamentele vragen, om competitief te blijven en onze sterkte ten opzichte van concurrerende landen uit te bouwen, maar daarnaast heeft Nederland (waar de groepen dicht genoeg bij elkaar zitten, om een intensieve wisselwerking mogelijk te maken) nu een aanvullende impuls nodig. Een aansprekend en samenhangend onderzoeksprogramma gericht op samenwerking op de lange termijn, dat ruimte biedt voor nieuwsgierigheidsgedreven onderzoek, kan ervoor zorgen dat Nederland zich ook in de toekomst als belangrijk kennisland blijft profileren, en zich verder ontwikkelt als aantrekkelijke vestigingsplaats voor topwetenschappers en topinnovators.

Vernieuwend aspect en argumenten voor vernieuwing

Route 4 is uniek in het bij elkaar brengen van een zeer breed scala van wetenschapsdisciplines: aardwetenschappen, astronomie, biologie, chemie, fysica, informatica, wiskunde. Deze vakgebieden adresseren al van oudsher deelaspecten van de route maar samenwerking tussen deze disciplines is internationaal uniek en bovendien hoogst noodzakelijk voor het bereiken van een revolutionair, schaal-overstijgend begrip van leven. Het opent niet alleen de weg om fundamentele oplossingen te bieden aan urgente maatschappelijke kwesties zoals ziekten en klimaatveranderingen maar is ook essentieel om technologische doorbraken te stimuleren om fundamenteel inzicht te verkrijgen over het leven.

Hiermee wordt ook een cruciale basis gelegd voor meer praktijkgericht onderzoek voor de verdere toekomst.

De mate van interactie die tussen de disciplines nodig is vereist een nieuw landelijk brandpunt waarin deze disciplines volop met elkaar in interactie zijn.

NWA-vragen die worden uitgewerkt

Deze route is de enige die de vier NWA vragen over aard, oorsprong en evolutie van leven behandelt:

133 - *"Is er leven buiten de aarde?"*

134 - *"Hoe is leven ontstaan en hoe werkt de evolutie?"*

135 - *"Hoe kunnen we de eigenschappen, functionaliteiten en het samenspel van moleculen in levende systemen beter begrijpen en zo bijvoorbeeld op leven geïnspireerde systemen ontwikkelen?"*

137 - *"Hoe ontwikkelt een bevruchte eicel zich tot een complex organisme met verschillende gespecialiseerde weefsels en organen?"*

Deze vier vragen zijn ook op de routeworkshops door de deelnemers herkend als zeer karakteristiek voor de route en ze vormen ook samen het skelet van de gamechanger die is geïdentificeerd.

Daarnaast verbindt en onderbouwt route 4 een aantal vragen die ook in andere routes aan de orde komen en die daarmee een conceptuele verbinding vormen:

82 *Hoe ontwikkelt het zenuwstelsel zich en hoe kunnen processen van degeneratie ervan worden tegengegaan?*

99 *Hoe kunnen we met behulp van een groter begrip van het leven, nieuwe targets identificeren voor moleculaire therapieën, antibiotica en antivirale middelen?*

100 *Hoe kunnen we met behulp van (stam)cellen en biomaterialen de vorming en het herstel van weefsels en organen bevorderen?*

101 *Kunnen we modellen van het menselijk lichaam ontwerpen en slimme technologie gebruiken voor gezondheids- voedings- en toxiciteitsonderzoek en daarmee tegelijkertijd het proefdiergebruik drastisch verminderen?*

121 *Kunnen we (bio-)elektronica ontwerpen die direct met ons lichaam communiceert, en materialen en technologie die lichaamsfuncties herstellen of ondersteunen?*

122 *Kunnen we een synthetische cel bouwen?*

124 *Hoe slaan we de brug tussen verschillende schalen bij het modelleren van dynamische systemen, zoals stromingen van en in vloeistoffen en gassen?*

127 *Wat zijn de oorsprong, geschiedenis en toekomst van het heelal?*

131 *Hoe ontstaan en evolueren melkwegstelsels, sterren en planeten?*

132 *Hoe kunnen we met ruimtevaartuigen en telescopen meer begrijpen van het heelal en ons zonnestelsel exploreren?*

136 *Cellen zijn de bouwstenen van het leven. Hoe werken ze en wat kunnen ze ons leren over levensprocessen?*

139 *Hoe verwerkt en onthoudt ons brein informatie en wat is daarbij de rol van plasticiteit en netwerken op verschillende (microscopische en macroscopische) niveaus?*

140 *Wat kunnen we als mensen weten over onszelf, God en onze plaats in de kosmos, en in hoeverre kan de wetenschap die kennis leveren?*

Overlap met andere routes

Route 4 heeft als kenmerkende eigenschap dat hier met fundamenteel, nieuwsgierigheidsgedreven onderzoek doorbraken kunnen worden bereikt die vergaande impact hebben op onderzoeksvragen die in andere routes zijn gesteld. Fundamenteel begrip van de processen in de cel en hoe deze te beïnvloeden zijn, kan ongeëvenaarde ingrepen in ziekteprocessen mogelijk maken, zoals in routes 1 en 2, en tot game-changers leiden in het duurzame gebruik van de omgeving of duurzame productie van voedsel en biomassa voor de biobased economy, zoals in routes 12,13,15 en 16. Het oplossen van vraag 134, "Hoe werkt evolutie?" biedt zowel nieuwe perspectieven op gewasverbetering (route 13) als voor personalized medicine (route 1). Route 4 is grotendeels gedreven door nieuwsgierigheid net als route 5: "Bouwstenen van materie en fundamenteel van ruimte en tijd", die laatste is gericht op de oorsprong van universum en materie maar adresseert voornamelijk de natuurkundige vragen, terwijl route 4 zich richt op de integratie van de kennis over het heelal en het leven op grotere tijd- en ruimteschalen met behulp van een zeer breed scala van wetenschapsdisciplines.

Normatief/ethische of ontwerpende aspecten

De voorgestelde onderzoeksinspanning zal tot nieuwe inzichten rond de positie van het leven in het heelal leiden, maar luidt ook grote maatschappelijke veranderingen in. Met het uitbouwen van de mogelijkheid tot ingrijpen komt immers een grotere verantwoordelijkheid voor het handelen. Het is in die context alleen maar vanzelfsprekend dat de grote ethische, kennistheoretische en zingevende vraag 140 over de plaats en rol van de mens en mogelijkheden van wetenschappelijk inzicht niet alleen bij route 6 – veerkrachtige samenlevingen – maar ook juist bij de meest fundamentele routes 4 en 5 gesteld wordt.

Impact: wetenschappelijk, maatschappelijk, economisch

Route 4 omvat vragen die cruciaal zijn voor ontwikkeling van de gehele wetenschap. De grote belangstelling van het bredere publiek dat op de NWA heeft gereageerd voor deze fundamentele vragen over de oorsprong en de toekomst van het leven, geeft aan dat de maatschappij het heel belangrijk vindt om deze fundamentele vragen te beantwoorden. De fundamentele vragen over de oorsprong van het leven spreken allerlei groepen en generaties aan, van de schoolgaande jeugd tot toponderzoekers. Voor de kenniseconomie die Nederland over twintig jaar wil zijn, is het moment aangebroken om het aanwezige potentieel te gebruiken voor het beantwoorden van deze vragen en om nieuw talent aan te trekken. Bovendien levert vooral het fundamentele, uitdagende onderzoek de technologische innovatie op die een tot een maatschappelijke en economische impuls kan leiden. Dat kan met een langlopend programma dat tot de verbeelding spreekt van de komende generatie. De mensheid zal alleen op de lange termijn op aarde kunnen overleven als we inzicht hebben in moleculaire en cellulaire netwerken van eencelligen en meercellige organismen en als we de basisprincipes van evolutie in relatie tot omgevingsveranderingen kunnen voorspellen. Dit geldt vooral in een tijd waarin we via genetische modificaties, geo-engineering of synthetische biologische systemen het 'leven' kunnen aanpassen om risico's van een veranderend leefklimaat te verkleinen.

Benodigde partijen/samenwerkingsverband nationaal en internationaal

Voor fundamenteel wetenschappelijk onderzoek zijn in eerste instantie de instellingen van Wetenschappelijk onderzoek en Academisch onderwijs de aangewezen partijen. Daarnaast is een zeer goede koppeling mogelijk naar alle onderwijsinstellingen omdat de route inspirerende fundamentele vragen behandelt. Om Nederland binnen en buiten Europa te profileren, moeten de bestaande internationale verbanden versterkt worden via een breed opgezette langlopende onderzoeksambitie. De Nederlandse onderzoekers betrokken bij deze route zijn bij uitstek internationaal georiënteerd. Tijdens de workshops rondom deze vragen heeft zich al een zeer brede groep van onderzoekers ingezet, die samen nationaal en internationaal een netwerk en reputatie van gewicht vertegenwoordigen.

Partners samenwerkingsverband in relatie tot lopende relevante programma's

Het fundamenteel onderzoek in Nederland dat zich met aan deze route grenzende vragen bezig houdt is zeer groot. Het betreft vooral Academische instellingen en instituten van NWO en KNAW die in totaal meer dan 1 miljard Euro elk jaar in de verschillende aspecten van Aardwetenschappen, Astronomie, Biologie, Chemie, Fysica, Informatica en Wiskunde investeren. Het grootste deel van dit geld is belegd in disciplinair onderzoek dat cruciaal is voor de kennisbasis van de Nederlandse wetenschappers. Een stevige versterking van deze kennisbasis over de gehele breedte van de wetenschap is hard nodig om het lopende onderzoeksbeleid uit te kunnen voeren en de topposities in de velden te handhaven.

Internationaal werkt Nederland samen met zeer veel partijen zoals ESA, NASA, en veel landen uit de EU in ESFRI en ERC context. De totale omvang van deze internationale verbanden bedraagt jaarlijks nog eens ca. 0,5 miljard.

Op dit moment zijn samenwerkingsverbanden in Nederland vooral georganiseerd rondom toepassingsgerichte vragen. Er is geen breed programma waarin fundamenteel transdisciplinair lange-termijn onderzoek mogelijk is.

Relevante agenda's

Topsectoren

Route 4 biedt een belangrijke versterking van het wetenschappelijk fundament van de volgende topsectoren: Life Sciences & Health, HTSM, Chemie, Agri & Food, Tuinbouw & Uitgangsmaterialen, en Water. Een belangrijk deel sluit ook aan bij topsectoroverstijgende programma's zoals Bouwstenen van Leven en Circulaire Economie.

H2020

Route 4 biedt een belangrijke verbindings- en financieringsmogelijkheden met het EU H2020 programma, zowel met de "Excellent Science" agenda hiervan (zoals ERC), met Industrial Leadership zoals voor Space, als met een aantal "Societal Challenges"

- Health, Demographic Change & Wellbeing
- Food Security, Sustainable Agriculture and Forestry, Marine, Maritime and Inland Water Research and the Bioeconomy
- Climate Action, Environment, Resource Efficiency and Raw Materials
- Europe in a changing world - Inclusive, innovative and reflective societies

NWO

NWO financiert een aantal strategische programma's op het terrein van route 4 (bijvoorbeeld PEPSci en AstroChem) maar vooral veel vrij en vernieuwingsimpulsonderzoek bevindt zich op de deelaspecten van deze route. Een bekend probleem bij de huidige NWO structuur is de praktische barrière die bestaat op het inrichten van grote transdisciplinaire programma's.

Infrastructuur

Een groot aantal nationale en internationale infrastructuurprojecten is nodig voor de beantwoording van deze vragen. De partijen die zich rondom route 4 verenigd hebben nemen nu al deel in tientallen grote en kleinere research infrastructuren en faciliteiten voor verschillende disciplines. Een continuering van deze inspanning is van groot belang om de stap naar de benodigde transdisciplinaire samenwerking mogelijk te maken.

Middelen

Benodigde additionele middelen

Transdisciplinair toponderzoek heeft onderzoekers nodig die opgeleid worden en werken in een samenhangende context. Daarom is het inrichten van een virtueel centrum rondom route 4 zeer zinvol. Dit centrum met als werktitel "Centre of Life" is een nieuw landelijk centrum dat de krachten en ideeën bundelt die samenkomen in route 4, en een nieuw platform biedt voor de ontwikkeling van de vereiste apparatuur, infrastructuur en logistiek (inclusief IT) voor nieuw transdisciplinair onderzoek en voor grensoverschrijdende 'seed projects'. Het centrum heeft zelf geen wetenschappers in dienst, maar bestaat alleen uit een faciliterende organisatie. Wetenschappers participeren in het centrum vanuit hun eigen instelling. Transdisciplinair onderzoek wordt gestimuleerd in het centrum door:

1. Organisatie van workshops waarin nieuwe resultaten samenkomen en samenwerkingen gestimuleerd worden
2. Formulering van grote gezamenlijke, internationale onderzoeksprogramma's
3. Een PhD programma waarin tenminste 2 begeleiders uit voldoende verschillende disciplines gezamenlijk voorstellen indienen.
4. Een Brain Gain programma om uitzonderlijk talent voor deze route aan te werven. Dit programma moet aantrekkelijk zijn in verhouding tot de ERC grants; Gestreefd wordt naar een aantal toponderzoekers per jaar met een perspectief voor tenminste zes jaar.

Benodigde financiering: Naar schatting in totaal 80M€ voor junior onderzoekers, 50M€ voor senior onderzoekers en 20M€ materiële kosten, voor een eerste looptijd van 10 jaar, waarin de samenwerking zich zal moeten bewijzen. Dit betekent een voor Nederland een aanvullende onderzoeksinvestering van 15M€/jaar.

Vanuit dit centrum wordt ook gezamenlijk een investering gevraagd en georganiseerd ten aanzien van de benodigde grote apparatuur en faciliteiten. Het is van groot belang dat apparatuur en (Big Science) faciliteiten die nog niet voorhanden zijn voor de transdisciplinaire vragen van deze route kunnen worden gefinancierd. Hierbij horen ook bijdragen en deelname aan internationale fysieke faciliteiten zoals telescopen, satellietinstrumenten, computers, maar ook aan gedistribueerde faciliteiten voor data-analyse, ecosysteem-analyse, en aardwetenschappelijke observatie.

Nederland kan in Europees verband het voortouw nemen door de veelheid van (elektronische en fysieke) infrastructuren die zich hierop richten vanuit een centraal wetenschappelijk gezichtspunt te benaderen. Voor de huidige en toekomstige Europese Roadmap voor infrastructuren worden nu door vele groepen kleine en min of meer onafhankelijke bijdragen gevraagd voor de Nederlandse deelname. Een aan het

centrum gekoppelde infrastructurele faciliteit zou hier voor een grote meerwaarde kunnen zorgen. Dit zal met name de aantrekkelijkheid van het geheel voor toponderzoekers weer versterken.

Benodigde financiering: Ook 150 M€ voor een gecoördineerde en substantiële participatie in de verschillende internationale infrastructures gedurende 10 jaar. Dit betekent een aanvullende investering van 15 M€/jaar in infrastructures.

De totale aanvullende kosten om dit transdisciplinaire centrum te implementeren bedragen daarmee 30M€ per jaar

Financieringsopties

De financiering van de betrokken partijen vanuit eerste, tweede en derde geldstroom rondom discipline projecten die relevant zijn voor deze vraag bedraagt momenteel honderden miljoenen Euro per jaar. Een game-changing integratie zal een substantiële extra inspanning op de grensvlakken van de traditionele disciplines vragen die zich echter op de middellange termijn dubbel en dwars zal terugverdienen. Voor dit precompetitief onderzoek is het moeilijk partners te vinden met een voldoende lange horizon. De overheid is hier de aangewezen partij die zo'n lange visie wel kan ondersteunen. Om het hier geschetste concept instituut met de internationale en infrastructurele inbedding te implementeren, is een aanvullende overheidsinvestering van 30M€/jaar gewenst.