

Portfolio voor onderzoek 2023 en verder

001

002

003

004

005

006

007

008

009

010

011

012

013

014

015

016

017

018

019

020

021

022

023

024

025

Inhoud

					Inleiding – Van vragen naar kansen	4
001	002	003	004	005	De blauwe route: water als weg naar innovatieve en duurzame groei	7
					Bouwstenen van materie en fundamenten van ruimte en tijd	11
					Circulaire economie en grondstoffenefficiëntie: duurzame circulaire impact	15
					Duurzame productie van gezond en veilig voedsel	19
					Energietransitie	23
					Gezondheidsonderzoek, preventie en behandeling	27
006	007	008	009	010	Jeugd in ontwikkeling, opvoeding en onderwijs	31
					Kunst: onderzoek en innovatie in de 21 ^{ste} eeuw	35
					Kwaliteit van de omgeving	39
					Levend verleden	43
					Logistiek en transport in een energieke, innovatieve en duurzame samenleving	47
					Materialen – Made in Holland	51
011	012	013	014	015	Meten en detecteren: alles, altijd en overal	55
					NeuroLabNL: dé werkplaats voor hersen-, cognitie- en gedragsonderzoek	59
					De oorsprong van het leven – op aarde en in het heelal	63
					Op weg naar veerkrachtige samenlevingen	67
					Personalised medicine: uitgaan van het individu	71
					De quantum / nano-revolutie	75
016	017	018	019	020	Regeneratieve geneeskunde: gamechanger op weg naar brede toepassing	79
					Smart industry	83
					Smart, liveable cities	87
					Sport en bewegen	91
					Sustainable Development Goals voor inclusieve mondiale ontwikkeling	95
					Tussen conflict en coöperatie	99
021	022	023	024	025	Waardecreatie door verantwoorde toegang tot en gebruik van big data	103
					Epiloog	107

Portfolio voor Onderzoek 2023 en verder

De Nationale Wetenschapsagenda is inmiddels stevig verankerd in de wereld van onderzoek, wetenschap en wetenschapscommunicatie. De agenda ontstond in 2015 op een heel bijzondere manier: via een oproep aan de samenleving. Iedereen werd gevraagd mee te denken over de wetenschap van de toekomst. Die oproep leverde maar liefst 11.700 vragen op, over de meest uiteenlopende onderwerpen. De nationale kennissamenleving, verenigd in de Kenniscoalitie, heeft de opgehaalde vragen tot 140 clustervragen gebundeld. De vragen stimuleren samenwerking, creativiteit en innovatie en verbinden de diverse stakeholders met thema's.

Bijna organisch en soms met een duwtje in de rug tuigden trekkers en boegbeelden de organisatie van 25 routes rondom deze 140 clustervragen op. Bij elkaar ontstond daarmee de Portfolio van onderzoek (ref 2016). De routes bleken sindsdien waardevolle actieve netwerken, dynamisch, zowel inhoudelijk als in samenstelling en hun management. De netwerken bepalen, geïnspireerd door de clustervragen in de NWA-agenda ook weer hun eigen agenda's. Ze richten zich voortdurend op vraagstukken in de samenleving die ertoe doen en die vragen om onderzoek. Zo vindt ook vernieuwing plaats: een kennisagenda staat nooit stil. De onderzoeksonderwerpen, en daarmee de clustervragen zijn echter nog steeds inspirerend en geldig.

Voor u ligt het Portfolio voor onderzoek

Introductie

Het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap heeft NWO verzocht een proces van 'lichte' actualisatie in te zetten. Dat betekent dat er geen nieuwe publieksconsultatie is uitgevoerd, zoals uitgevoerd bij de totstandkoming van de NWA-agenda. Dit omdat het fundament waarop de agenda is opgebouwd nog beschouwd wordt als relevant en actueel. Dat betekent ook dat de 140 clustervragen die samen de NWA-agenda vormen in ongewijzigde vorm blijven bestaan.

NWO heeft de routes gevraagd om de lead te nemen bij de actualisatie. Deze benadering sluit aan bij de bottom-up organisatie van de routes, waarin het veld zich langs de thema's van de routes georganiseerd heeft. Elk van de 25 routes is gevraagd om na te gaan of de clustervragen die in 2016 door de route omarmd zijn nog relevant zijn voor de route; een inhoudelijke check te doen op de portfoliotekst; indien van toepassing een actualisatie door te voeren op de portfolio van de route en dit uit te voeren op een transparante en inclusieve wijze met de brede achterban van de route.

Voor u ligt het resultaat van dit proces, de Portfolio voor onderzoek 2023 en verder. Laat deze Agenda voor u opnieuw een inspiratie zijn voor het op zoek gaan naar antwoorden, samenwerking en verbinding met de vragenstellers van nu en de toekomst!

De blauwe route: water in beweging

Transities en kansen in het blauwe domein

Het thema 'water' is urgent. De zeewaterspiegel stijgt, klimaatverandering beïnvloedt de oceaan, plastic afval vervuult het water, er is een gebrek aan schoon drinkwater, extreme droogtes komen vaker voor en, het bruikbare land raakt overvol. Precies op het kwetsbare grensvlak tussen water en land vinden we vruchtbare grond en wonen steeds meer mensen.

Ruim zeventig procent van het aardoppervlak bestaat uit water. Water is een voorwaarde voor alle bekende levensvormen. Het is de bron van voedselproductie en we gebruiken het als drager van afvalstromen en transport. Daarnaast biedt water mogelijkheden tot het opwekken van energie en circulariteit. De 'Blauwe Route' richt zich op het beter begrijpen, benutten en beschermen van oceanen, zeeën, delta's en rivieren. **Van zout water, zoet water tot grondwater. Op die manier kunnen we wereldwijd duurzaamheid verhogen, terwijl welzijn en welvaart in stand blijven.**

Het belang van deze route is dan ook groot. Enerzijds gaat het om het beter begrijpen van gekoppelde aquatische, terrestrische, atmosferische en mariene processen en ecologie. Anderzijds willen we nieuwe technologieën, productiesystemen en woon- en werkruimte ontwikkelen om het water duurzaam te kunnen benutten. Daarvoor is het noodzakelijk dat we het water beschermen én onszelf tegen het water beschermen.

Leven met water

Deze route verbindt nadrukkelijk de traditionele bèta-clusters met techniek en de gammawetenschappen. Rondom water zijn niet alleen ecologische, economische, analytische, sociale en technische aspecten van belang, maar ook bijvoorbeeld geschakelde lokale, regionale en mondiale vraagstukken op het gebied van bestuur en ruimtelijk beleid. Leven en werken met water biedt ruimte voor duurzame groei, zelfs in tijden van zeespiegelstijging, urbanisatie en wereldwijde bevolkingsgroei. De route verbindt fundamentele vragen met toegepaste en normatieve vragen rond klimaatverandering en waterveiligheid, water- en

grondstofzekerheid, transport over water, duurzame energieopwekking op zee en in kustgebieden, en opslag van energie in oppervlakte- en grondwater. Met vragen over maritieme infrastructuur, landgebruik, ruimtelijke ordening, stedenbouw en landwinning. Maar ook met vragen over water- en luchtkwaliteit, verduurzaming, voedsel- en biomassaproductie op land en in het water, en over bodemgezondheid, bodemdaling en biodiversiteit in de breedste zin.

Urgentie

Het veranderende water is een thema dat ons allemaal raakt. Rivieren, zeeën, oceanen en grondwater vormen zowel een bedreiging als een kans. Het *World Economic Forum* noemt watercrises de bedreiging met de grootste impact op de wereldeconomie. De gevolgen van klimaatverandering scoren eveneens hoog in de top10 van bedreigingen, zowel qua frequentie als impact. Daarnaast leeft de helft van de wereldbevolking op dit moment in delta's en kust- en riviergebieden. Naar verwachting zal dit percentage in 2050 zelfs oplopen tot zeventig procent van de totale wereldbevolking. Delta's hebben een groot potentieel, maar zijn tegelijkertijd ook enorm kwetsbaar voor zeespiegelstijging, bodemdaling, verontreiniging en natuur- en weersinvloeden. Dat vraagt om mitigatie en adaptatie. We kunnen het ons eenvoudigweg niet permitteren om stil te staan.

Water biedt ook nieuwe bronnen voor energie, grondstoffen, voedsel en transport. Door op basis van begrip van het watersysteem het water zowel te benutten als te beschermen, combineren we economie en ecologie. Nederland is groot geworden aan het water. De teneur is echter wel veranderd vanaf 2018. Er is een 'water-

transitie' nodig: een significant en structureel ander beheer van het (grond)water, om verder te kunnen groeien op, aan én in het water.

Vernieuwing en toekomstperspectieven

De Blauwe Route is vernieuwend en verbindend in haar aanpak:

1. Om innovatief en duurzaam 'leven met water' mogelijk te maken, willen we begrijpen, benutten en beschermen combineren. De Blauwe Route geeft een impuls aan een intensieve en gecoördineerde samenwerking tussen bèta-, technische en gamma-wetenschappen, van fundamenteel en toegepast onderzoek en van economie en ecologie.
2. De Blauwe Route wil antwoorden geven op vragen over het onbekende. We zijn op de maan geweest en onderweg naar Mars maar over onze eigen oceanen weten we onvoldoende. Dat vraagt kennis van gekoppelde ecologie, kringlopen en processen in diep en ondiep water. De Nederlandse problematiek staat niet los van het globale systeem. Zo is de Atlantische Oceaan als klimaatmotor de sturende kracht achter processen die de dynamiek van de Nederlandse Delta bepalen. Ook de Noordpool is zo'n gebied. Nederlands onderzoek moet aansluiten op mondiale initiatieven.
3. De Blauwe Route zorgt ervoor dat het onderzoek gaat van een 'gevecht tegen het water', via het 'bouwen met het water' naar het echt 'leven met water en droogtes'. Dit biedt nieuwe perspectieven voor voeding, energie, grondstoffen, vervoer en wonen aan, op en in het water.
4. De Blauwe Route vormt een definitieve breuk met het traditionele lineaire innovatieproces: innovaties vinden plaats in open netwerken en in de vorm van co-creatie door alle betrokkenen in wetenschap, maatschappij en bedrijfsleven. We kiezen daarbij voor een aanpak via living labs waarbij concrete gebieden zoals de Randstad, hoge zandgronden, de Zuidwestelijke Delta, de Wadden en de Noordzee gebruikt worden als experimenteeruimtes om het totale systeem beter te kunnen doorgronden.

Deze vier lijnen vertalen zich in drie gamechangers.

Delta's in beweging

Hoe ontwikkelen we een Sustainable Urban Delta waarin grote bevolkingsgroepen veilig, gezond en duurzaam samen wonen, werken, eten en leven?

Wereldwijd groeit de verstedelijking in deltagebieden exponentieel. De urgentie van de gevolgen van klimaatverandering wordt steeds groter. Het gaat om de dreiging van de stijgende zeespiegel en de toenemende gevolgen van extreem weer, zoals perioden van droogte en extreme regenval in het bovenstroomse gebied van de delta. Daarnaast spelen in de delta zelf grote vraagstukken qua ruimtegebruik zoals woningbouw, landbouw en natuur. Om die in samenhang te bestuderen en te ontwikkelen, is het noodzakelijk om in deze transitie water als leidend en sturend principe te gebruiken. We moeten ons beter wapenen tegen problemen als klimaatverandering, zeespiegelstijging, bodemdaling, extreme rivierwaterafvoeren, waterschaarste, druk op de schaarse ruimte, grondwateruitputting, verzilting en waterverontreiniging .

Met Nederland als levend voorbeeld willen we werken aan de *Sustainable Urban Delta*. Kennis over bijvoorbeeld rivier- en kustsystemen, stedelijke watersystemen, klimaat-adaptief deltamanagement, efficiënter (circulair) gebruik van zoet water, nature based *solutions* en drijvend bouwen bieden nieuwe wetenschappelijke uitdagingen met grote maatschappelijke relevantie. De technologische en ecologische uitdagingen hiervan zijn groot: hoe ontwikkelen we een aanpak waarbij er meer ruimte komt voor afvloeien en waterberging in de delta en we met drijvende oplossingen tegelijkertijd ook ruimte maken voor de buitendijkse uitbreiding van steden en energietransitie in havens? Hoe houden we in periodes van droogte voldoende water vast om bodemdaling en verzilting tegen te gaan en rivieren bevaarbaar te houden? Hoe integreren we nieuwe oplossingen in de bestaande delta-aanpak terwijl we tegelijkertijd werken aan de bescherming en versterking van de aquatische en mariene ecologie? Dit vraagt om interdisciplinair onderzoek om de Nederlandse Delta leefbaar te houden en van de juiste kennis te voorzien, die we ook wereldwijd kunnen toepassen.

Water in transitie

Hoe benutten we het water en de energie, grondstoffen en voeding op, in en onder dat water, duurzaam en economisch verantwoord?

Water is een grondstof maar ook bron van leven. Het is een belangrijke bron van plantaardig en dierlijk voedsel. Nieuwe manieren van waterbeheer kunnen de water-

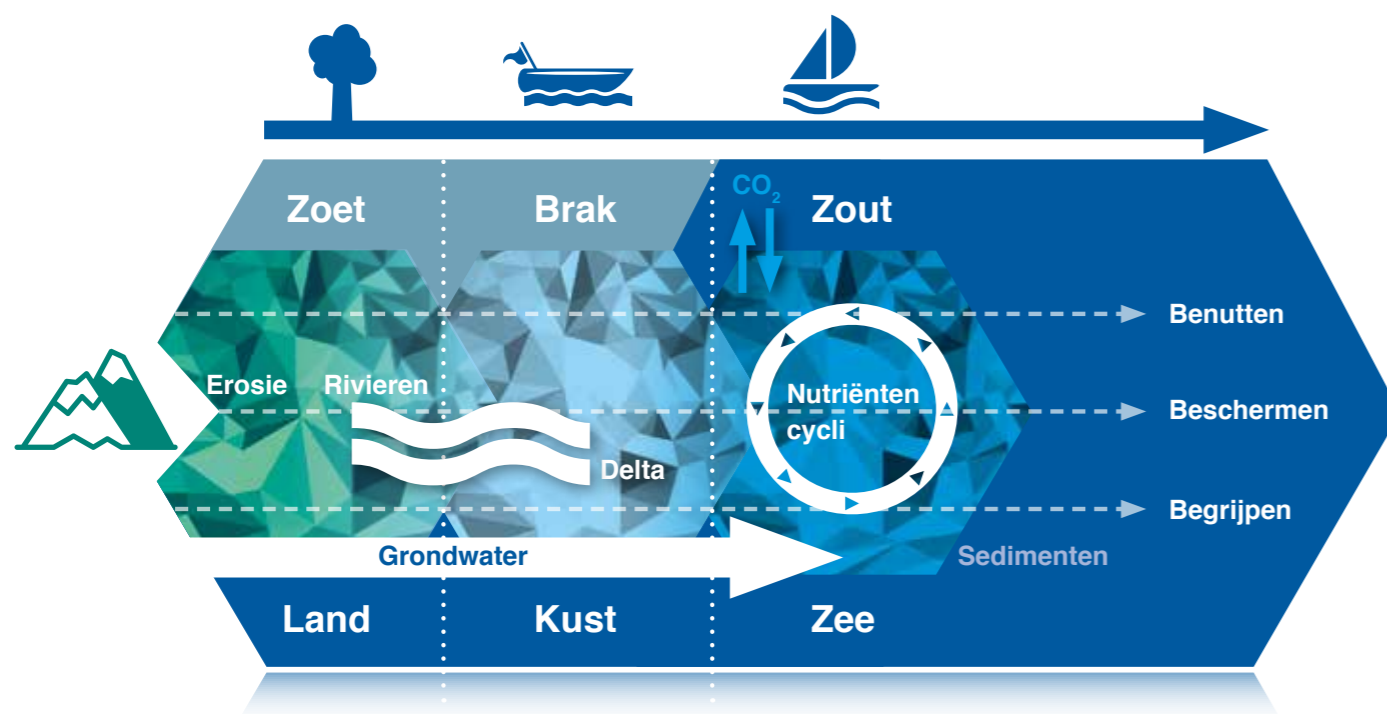
beschikbaarheid in dichtbevolkte gebieden vergroten, zoals tijdelijke opslag in grondwater, ruimtelijke ordening met water als sturende factor, hergebruik van afvalwater en het aanwenden van brak water. Nieuwe vormen van voedselvoorziening voor mens en dier middels duurzame visserij, *aqua farming* en zeevicultuur bieden mogelijkheden om het beschikbare landbouwareaal nabij stedelijke gebieden te vergroten. In kustgebieden en kustzeeën vinden enorme transitieplaatsen in de energievoorziening door de bouw van windparken met grote ecologische en sociaaleconomische gevolgen. Energiewinning op het water middels waterkracht, getijdestroming, golfenergie en osmose bieden ook nieuwe mogelijkheden voor duurzame energiewinning. De technologische uitdagingen hiervan zijn groot: hoe ontwikkelen we drijvende grote structuren die sterk en veilig zijn in stormen en stroming? De oceaan-, zee- en rivierbodems vormen een bron van sedimenten, mineralen en andere essentiële grondstoffen die de mens duurzaam kan winnen en benutten. Vaak vindt deze winning plaats in extreem kwetsbare gebieden (bijvoorbeeld gaswinning in de Waddenzee, maar ook 'deep sea mining') waardoor het van belang is om uiterste zorgvuldigheid te betrachten en mogelijke implicaties goed in kaart te brengen.

Duurzaam transport over water

Hoe kunnen zero-emissie en autonoom varen samen met een toekomstgerichte inrichting van onze havens en vaarwegen bijdragen aan duurzaam en veilig vervoer?

Nu en in de toekomst is vervoer over water de belangrijkste methode voor transport van goederen van producenten naar afnemers. Maar die methode moet wel duurzamer ingericht worden. Belangrijke thema's zijn een schoner en veiliger gebruik, efficiëntere transportmethoden en inpassing in een omgeving die aan maatschappelijke- en klimaatveranderingen onderhevig is. Het vraagt kennis en technologie op het vlak van hydrodynamica en energiesystemen om tot zero-emissie typen schepen te komen. Natuurlijke voortstuwing, bijvoorbeeld door wind, biedt kansen, maar ook het gebruik van waterstof en waterstofdragers zoals methanol en ammoniak, elektrische voortstuwing en kernenergie. Innovatieve ontwerpen van schepen en toepassing van nieuwe materialen zijn van belang. Verdere ontwikkeling en toepassing van geïntegreerde systemen voor

De blauwe route



automatisering en controle maken de scheepvaart efficiënter en veiliger. *Remote operation* en autonome oplossingen bieden mogelijkheden, maar ook verdere ontwikkeling en toepassing van *digital twins* en aandacht voor *cyber security* zijn van belang. Geavanceerde sensoren, systemen, big-data analyse, AI en ontwerpmethodieken zullen daarin een belangrijke rol spelen. Duurzaam transport is alleen mogelijk als alle elementen op de juiste wijze in hun omgeving worden toegepast, van schepen, vaarwegen en natte kunstwerken tot aan mainports van de toekomst. De interactie tussen de omgeving en de diverse elementen van duurzaam transport dient integraal in ontwerpen meegenomen te worden.

Living labs

Al deze perspectieven bieden ruimte voor de *living-lab*-aanpak waarbij wetenschappers, bedrijven, overheden, studenten en burgers concreet samen-

werken aan een nieuwe werkelijkheid en er zelfs in samenleven. Zo'n living lab combineert wetenschappelijke, sociale en technologische innovatie in één programma: nieuwe producten worden ontwikkeld en tegelijkertijd wordt het gedrag van de eindgebruikers beïnvloed doordat ze direct betrokken zijn en nieuwe mogelijkheden krijgen. De *living-lab*-aanpak vormt daarnaast een belangrijke brug tussen fundamenteel, toegepast en praktijkgericht onderwijs, waarin universitaire en hogeschoolstudenten actief mee kunnen doen. En tot slot zijn de *living labs* ook levende demonstraties waarmee Nederland de wereld laat zien hoe je duurzaam kunt leven met water.

Tenslotte

De Blauwe Route sluit naadloos aan bij de Duurzame Blauwe Economie (DBE) ambitie van de EU en de Nederlandse overheid.

Bouwstenen van materie en fundamentele van ruimte en tijd

Jonge kinderen stellen uit nieuwsgierigheid allerlei vragen, zoals 'Waarom is de lucht blauw?'. Eenzelfde passie drijft deze route, die gaat om fundamentele vragen over materie, ruimte en tijd, en het heelal. Eerder onderzoek naar deze vragen heeft als *spin-off* enorme maatschappelijke doorbraken als internet, gps en wifi opgeleverd. Gezien het grote aantal vragen over dit onderwerp in de Nationale Wetenschapsagenda, kan deze route ook rekenen op een grote fascinatie vanuit de samenleving. Voor de zoektocht naar antwoorden zijn nieuw onderzoekstalent en geavanceerde, innovatieve technologie onontbeerlijk. Om talent binnen toekomstige generaties wetenschappers tot volle bloei te laten komen, is veel aandacht nodig voor onderwijs en wetenschapscommunicatie op dit terrein.

Waaruit bestaan ruimte, tijd, en materie? Wat zijn donkere materie en donkere energie? Wat zijn zwarte gaten? Wat is de oerknal, en hoe kun je daaraan meten? Hoe ontstaan complexe structuren uit simpele bouwstenen, in het klein en in het groot, op aarde en in het heelal? Wat is de wiskunde achter symmetrie? Deze vragen liggen aan de basis van ons begrip van de natuur en onze plaats in het heelal.

Voor het effectief beantwoorden van deze en aanverwante wetenschappelijke vragen zijn waarnemingen van het heelal en experimenten in de deeltjesfysica nodig. Niet zelden gaat het hierbij om technologische hoogstandjes en complexe infrastructuur, zoals deeltjesversnellers bij CERN, telescopen op aarde en in de ruimte, supercomputers, en ultrastabiele laserinterferometers. Daarnaast zijn goed gefundeerde dwarsverbanden cruciaal tussen de verschillende disciplines en sectoren, te weten de natuurwetenschappen onderling, filosofie, informatica en ICT, wiskunde, technische studies, en het bedrijfsleven. Daarnaast is er vanwege de benodigde technologische infrastructuur aansluiting bij de topsector HTSM en de Roadmap Advanced Instrumentation.

Bouwstenen van het universum

De afgelopen decennia is ons begrip van de elementaire bouwstenen van materie en van het universum spectaculair toegenomen. Dit leidt tot de fascinerende

vraag of het bestaan, de evolutie en de structuur van ons gehele universum begrepen kunnen worden in termen van de elementaire bouwstenen ervan. Afzonderlijk beschrijven de sterrenkunde en de elementaire deeltjesfysica de fenomenen van hun domein op succesvolle wijze. Nu willen we deze twee disciplines onder één noemer samenvoegen en hun verbintenis met de kosmologie begrijpen. Wat betekent het recent ontdekte Higgsdeeltje voor de evolutie van het heelal? Kunnen donkere materie en donkere energie worden begrepen in termen van elementaire bouwstenen? Ligt wiskundige symmetrie en wellicht zelfs getaltheorie aan de basis van fundamentele theorieën over ruimte, tijd en materie?

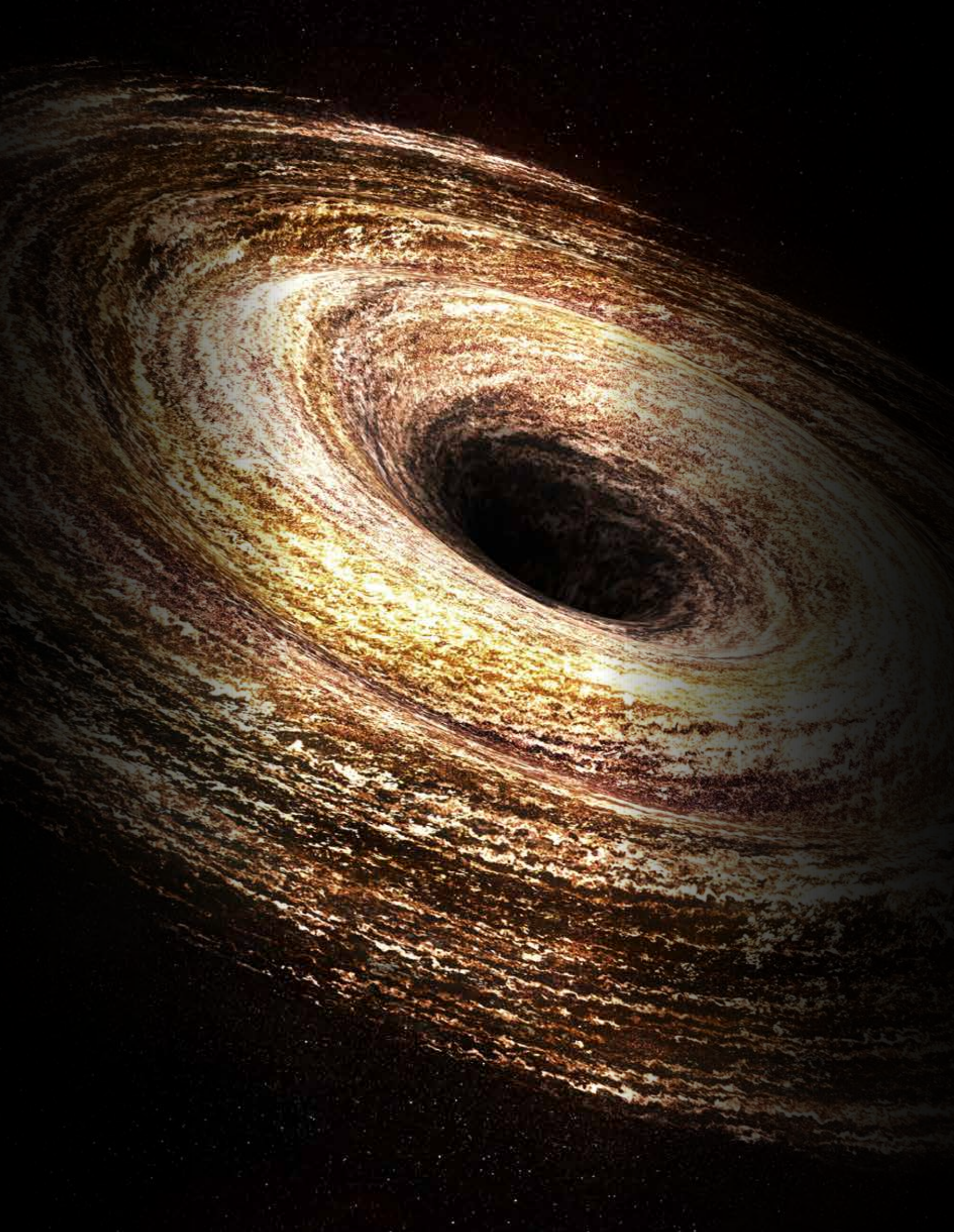
Om de vragen rondom het deeltjesuniversum effectief te lijf te kunnen gaan zijn nu nieuwe samenwerkingen nodig tussen verschillende disciplines, alsmede met de innovatieve industrie. Hier liggen vooral kansen voor de astrodeeltjesfysica en de kosmologie, twee multidisciplinaire velden die de deeltjesfysica en astronomie met elkaar verbinden. De astrodeeltjesfysica maakt gebruik van alle mogelijke elementaire deeltjes en krachten als boodschappers van informatie, zoals hoogenergetische fotonen, neutrino's, kosmische straling van protonen en zware ionen en zwaarte-krachtsgolven. Deze multiboodschapperaanpak is ook vereist voor de zoektocht naar de identiteit van donkere materie.

Albert Einstein onthulde in 1915 met zijn Algemene Relativiteitstheorie een radicaal nieuw verband tussen ruimte, tijd en zwaartekracht. Op 11 februari 2016 maakte het internationale LIGO Virgo consortium de eerste waarneming wereldkundig van zwaartekrachtsgolven: trillingen van de structuur van de ruimtetijd zelf, die afkomstig zijn van de meest energetische gebeurtenissen in het heelal, zoals botsende zwarte gaten of het ontstaan van ons heelal. In dit geval waren de zwaartekrachtsgolven afkomstig van een botsing van twee stellaire zwarte gaten die 1,3 miljard jaar geleden plaatsvond. De bekendmaking van een tweede waarneming volgde vier maanden later. Deze sensationele ontwikkeling opent een nieuw vergezicht op het heelal. De ESA ruimtemissie eLISA, die in 2034 een gelijksoortig meetinstrument de ruimte in zal lanceren, zal zwaartekrachtsgolven afkomstig van superzware zwarte gaten kunnen registreren. Deze route pleit voor twee grensverleggende initiatieven op Nederlandse bodem, waarin wetenschap, industrie en techniek samenkomen om fundamentele vragen over ons universum te beantwoorden.

Einstein Telescope

Ontdekkingen van grensverleggende wetenschappelijke waarde worden verwacht van de Einstein Telescope (ET), het ultieme observatorium voor het waarnemen en bestuderen van de structuur van ruimtetijd door het detecteren van zwaartekrachtsgolven.

De rol van de Einstein Telescope zal vergelijkbaar zijn met die van ESA/ESTeC in Noordwijk: een tweede internationale onderzoeksinstelling in Nederland met een rol die vergelijkbaar is met die van CERN voor Zwitserland. Bijzonder is dat Zuid-Limburg vanwege zijn geologische structuur een geschikte locatie zou zijn om de faciliteit te huisvesten. De Einstein Telescope zal bestaan uit drie cryogene interferometers met een armlengte van 10 kilometer, die in de Limburgse ondergrond op ongeveer 200 meter diepte worden geplaatst om seismische ruis te onderdrukken. Het instrument zal de meest nauwkeurige relatieve lengte- veranderingen registreren die ooit door de mensheid zijn gemeten.



De Einstein Telescope biedt ongekende mogelijkheden voor het verrichten van precisieingen in het regime van sterke en dynamische zwaartekrachtvelden. Hierdoor kunnen we op geheel nieuwe wijze het heelal in kaart brengen, krijgen we toegang tot een energieschaal die vele malen hoger is dan die met deeltjesversnellers, en kunnen we onze theorieën van zwaartekracht testen in gebieden met ultieme gravitatie.

Dutch Institute for Emergent Phenomena (DIEP)

Op iedere nieuwe schaal vertonen de losse bouwstenen in grote aantallen collectief gedrag, dat rijk, complex, en vaak ook onverwacht is. Dit zogeheten emergente gedrag, dat optreedt als verschillende bouwstenen een interactie met elkaar aangaan, verbindt alle mogelijke schalen, van de deeltjesfysica tot de kosmos. De nieuwe wetten en eigenschappen die dit collectieve gedrag beheersen vertonen een opmerkelijke universaliteit: ze worden grotendeels beheerst door overkoepelende organiserende principes zoals symmetriebreking, zelforganisatie, faseovergangen en kritiek gedrag.

De transdisciplinaire uitdagingen en de intrigerende mogelijkheid dat alle emergente verschijnselen manifestaties zijn van dezelfde onderliggende principes, maken het essentieel om onderzoekers uit verschillende wetenschapsgebieden samen te brengen. Om dit te bewerkstelligen is een toonaangevend internationaal instituut nodig, gewijd aan problemen op het interdisciplinaire terrein van emergent gedrag. Dit is het beoogde Dutch Institute for *Emergent Phenomena*, DIEP. Door middel van multidisciplinaire onderzoeksprogramma's zal DIEP een broedplaats van nieuwe ideeën worden, een metaforische snelkookpan waar wetenschappers in teamverband werken aan multidisciplinaire emergentievraagstukken. Gezien het belang van wiskundige modellering van universele emergentievervalsing en de daarmee gepaard gaande numerieke vraagstukken, zullen onderzoekers in DIEP tevens toegang moeten hebben tot zeer

geavanceerde computationele faciliteiten en expertise. Een ander belangrijk speerpunt van DIEP is het opleiden van de volgende generatie wetenschappers, die geïnspireerd moeten worden om in transdisciplinaire samenwerkingsverbanden de grote wetenschappelijke vraagstukken van hun tijd aan te pakken.

Educatie en wetenschapscommunicatie

Niet alle kinderen hebben dezelfde kansen om een bètastudie te kiezen. Meisjes en kinderen van allochtone afkomst of met laagopgeleide ouders zijn aantoonbaar ondervetegenwoordigd onder de bètastudenten. Het doel van deze gamechanger is dat in 2040 de bètastudentenpopulatie net zo divers is als de Nederlandse bevolking. Zo kunnen we al het aanwezige bètatalent optimaal benutten. Educatie en wetenschapscommunicatie zullen op een wetenschappelijke, evidence-based wijze worden benaderd.

Grensverleggende instrumenten

Nauwkeurige waarnemingen staan aan de basis van onze kennis over de structuur van ruimte en tijd en de bouwstenen van materie. Door het vormen van expertisecentra kan de speciaal voor deze waarnemingen ontwikkelde technologische kennis en ervaring voor alle Nederlandse gebruikers optimaal worden ingezet. Zo kan de opgebouwde kennis over netwerken binnen LOFAR internetverbindingen versnellen. De ontwikkeling van specialistische cyrogene detectoren voor de ESA Athenamissie leidt tot sensoren met extreem lage ruis. Het gelijktijdig kunnen meten van elektronische, magnetische en optische eigenschappen van materialen biedt nieuwe inzichten. Bovendien zijn instrumenten die voor ruimtemissies worden ontworpen, extreem robuust en betrouwbaar in gebruik, wat ze ook interessant maakt voor toepassing op aarde

in extreme omstandigheden. Door technologische kennis actief te bundelen in expertisecentra, kunnen alle Nederlandse onderzoekers op een kosten-efficiënte manier aan het voorfront van de techniek en de wetenschap werken. Deze voorgestelde nieuwe kenniscentra moeten functioneren als broedplaatsen waar jonge mensen worden opgeleid, hightech start-ups ondersteund kunnen worden met ruimte en gedeelde werkplaatsen en onderzoekers van instituten, universiteiten, hogescholen en bedrijven kennis kunnen delen in thematische workshops. Deze centra zullen nieuwe gebruikers actief ondersteunen en de technologisch grensverleggende kennis voor een grote Nederlandse gebruikersgemeenschap beschikbaar maken.

Investeren in kansen

Voor het realiseren van de geïdentificeerde kansen is een ambitieuze investering nodig. Hierbij is een langetermijnperspectief vereist voor participatie in de grote internationale projecten van CERN, ESA, ESO en anderen. De Einstein Telescope en het instituut DIEP zijn voorbeelden van uitgelezen kansen voor internationaal unieke faciliteiten op en in Nederlandse bodem.

Het ontwerpen, bouwen en gebruiken van een deeltjesversneller of een telescoop is een proces van tientallen jaren in grote internationale verbanden. Daarnaast gaat het om een samenspel van diplomatie, internationale samenwerking, natuurkunde, sterrenkunde, ICT, telecommunicatie, meet- en regeltechniek, bouwbedrijven, toeleveranciers en logistiek. Deze route biedt dan ook een multidisciplinaire uitdaging en een enorme kans voor onderzoekers, bedrijven en technici die bovendien op de steun en fascinatie kan rekenen van het algemene publiek.

Circulaire economie

Een circulaire economie (CE) leidt tot sluiting van materiaalkringlopen door gebruik van zoveel mogelijk duurzame en hernieuwbare grondstoffen en hergebruik van zoveel mogelijk producten en grondstoffen. Hiermee wordt maximaal ingezet op het voorkomen van reststromen die niet terug te voeren zijn in kringlopen en waarvoor storten of verbranding uiteindelijk de enige restopties zijn. Dat is het ideaal van deze route. CE is daarmee een hulpmiddel om te komen tot een materialentransitie waardoor wij op termijn op een duurzame wijze omgaan met de eindige hoeveelheid grondstoffen op onze planeet. De circulaire economie levert een bijdrage aan het welvaartspeil van onze samenleving op langere termijn door het creëren van economische groei, het beschikbaar stellen van voldoende grondstoffen en vermindering van de milieudruk. De circulaire economie vereist het afscheid nemen van het huidige lineaire systeem van grondstoffen naar eindproducten en vervolgens afval. Hiervoor is naast nieuwe technologische kennis, methodologische kennis voor structurele aanpassingen in de manier waarop we onze samenleving vormgeven van groot belang. Deze route is dan ook noodzakelijkerwijs multidisciplinair van aard.

Een circulaire economie gaat uit van volledige herbruikbaarheid van producten, componenten en grondstoffen en van het behoud van natuurlijke hulpbronnen in een robuust ecosysteem. Deze vorm van economie is de basis voor een betere vraag-aanbodverhouding van grondstoffen in de toekomst. In de circulaire economie zijn ketens gesloten en optimaal ingericht, onder meer door het circulair ontwerpen van producten en processen. Expliciete voorbeelden van grondstoffen waarvoor kringloopsluiting vereist is zijn zeldzame en kritieke materialen voor de energie- en mobiliteitstransitie, fosfaaterts voor de landbouw en plastics voor verpakking van voedsel en medische artikelen. Om een gezonde en aantrekkelijke leefwereld te kunnen blijven garanderen, is het nodig om natuurlijke ecosystemen te behouden en te versterken. Daarnaast fungeert een gezond ecosysteem als natuurlijke bron van grondstoffen en als basis voor verschillende kringlopen. Hernieuwbare (bio-) grondstoffen zijn daarvoor een belangrijke bron van inspiratie. De materialentransitie heeft consequenties voor en wordt beïnvloed door diverse andere transitities zoals de energietransitie, de mobiliteitstransitie, de gezondheidstransitie etc.

Onderstaande geeft daarom een beeld van de belangrijkste noodzakelijke kennisontwikkelingen in de samenwerking tussen de gehele kenniskolom van hogescholen, toegepast onderzoek, academisch onderzoek en industrieel onderzoek. Daarbij mag de

ontwikkeling van human capital, zeker ook op MBO en HBO niveau, niet ontbreken als essentiële factor voor de praktische realisatie. Deze agenda benoemt dus geen prioritaire materiaalklassen, technologieën of methodologieën: de huidige staat van de circulaire economie in Nederland vergt grote inspanningen op alle terreinen. Wel benoemt deze agenda een aantal belangrijke perspectieven, ofwel gamechangers, die vaak in samenhang geanalyseerd moeten worden om de transitie te bespoedigen. Meer gedetailleerde agenda's zijn te vinden als onderdeel van het Rijksbrede Programma Circulaire Economie, de KIA CE, de PBL monitoringsrapportage, Europese agenda's, regionale agenda's, groeifonds agenda's, etc. De agenda van deze NWA-route is tot op heden in goed overleg met deze partijen opgesteld sinds de formulering van deze NWA-route in 2016 en biedt dus een goed overkoepelend perspectief op de noodzakelijke en prioritaire ontwikkelingen de komende jaren, passend bij de doelstellingen van de Nationale Wetenschapsagenda. Deze NWA route levert al sinds 2016 een platform voor een intensieve en vruchtbare kruisbestuiving tussen al deze partijen en zal dat ook in de toekomst blijven doen door het aanjagen van verbindingen tussen alle betrokken partijen.

Gamechangers Systeemperspectief

De essentie van de overgang naar een circulaire economie wordt gevormd door aanpassing in complete waardenetwerken: van productontwerp tot nieuwe

bedrijfs- en marktmodellen en nieuwe vormen van consumentengedrag. Inzicht is vereist in structuren en instituties, gedrag, beleid en technologische ontwikkelingen die een circulaire economie belemmeren of juist voortstuwen. Welke veranderingen zijn mogelijk en nodig? Welke barrières moeten worden weggenomen? En welke prikkels zijn effectief en acceptabel om gewenst gedrag van relevante stakeholders te stimuleren?

De ontwikkeling van de circulaire economie vereist een volledige systemische benadering, ook voor onderzoek en ontwikkeling voor de noodzakelijke innovaties in technologie, organisaties, maatschappij, financieringsmethoden en beleid. Het is essentieel begrip te hebben van de totale ecologische footprint in de meervoudige te doorlopen waardeketens van (terug)winning van materialen en grondstoffen, verwerking tot producten en gebruik, inclusief zaken als logistiek etc. Het hiervoor benodigde circulaire LCA instrumentarium, dat ook rekening houdt met energieverbruik en emissies naar de omgeving, moet nog beter ontwikkeld worden.

Hier liggen uitgesproken uitdagingen en kansen voor nieuwe verbindingen en inter- en transdisciplinair onderzoek. Noodzakelijke doorbraken moeten worden gerealiseerd in gezamenlijk onderzoek in de quadruple helix met bedrijven, overheden en NGO's/burgers. Samenwerking, ook internationaal, is essentieel om nieuwe kennis tijdig te delen, en om na te gaan in welke mate inzichten algemeen toepasbaar, dan wel bijvoorbeeld cultureel gebonden of lokaal van aard zijn. Veel elementen uit de uiteindelijke circulaire economie moeten nog worden ontworpen, ontwikkeld en gerealiseerd, terwijl de goede elementen van de huidige lineaire economie moeten worden geïdentificeerd en behouden.

In het ontwikkelen van systeemperspectief is het dus van groot belang zicht te hebben op hoe het huidige lineaire systeem in elkaar steekt, wat de grondstof- en afvalproblemen zijn, wat de consequenties zijn van overgang naar een circulaire keten voor alle stakeholders, wat op- en afgebouwd moet worden en wat voor tijdspad daarvoor realistisch is. Vervolgens moet inzichtelijk worden gemaakt welke aspecten meer of

minder prioritair opgepakt kunnen of moeten worden, en in een logische samenhang en tijdspad geordend. Dit is ook nodig vanwege de continue noodzaak tot monitoring van de transitie.

Gesloten kringlopen

In een circulaire economie waarbij grondstoffen efficiënt worden geproduceerd, gebruikt en hergebruikt, zijn gesloten kringlopen van producten en processen cruciaal. Zowel productieprocessen als materialen en producten moeten daarvoor een ingrijpende transitie ondergaan. De levensduur van producten wordt verlengd, bijvoorbeeld door reparatie of opwaardering. Hiervoor moeten producten en componenten anders ontworpen worden: modulair, repareerbaar, opwaardeerbaar, demonteerbaar en recycleerbaar. Standaardisatie is een van de oplossingen, zowel door het aanpassen van bestaande normen als het ontwikkelen van nieuwe. Aan het einde van de levensduur van een product worden grondstoffen herwonnen en op zo hoog mogelijke kwaliteit opnieuw ingezet. Dit maakt keuring, karakterisering, scheiding, isolatie of opwerking nodig. Productpaspoorten en standaarden zijn daarbij belangrijke hulpmiddelen om circulariteit te kunnen borgen. Daarnaast blijft het belangrijk te werken aan innovatieve, energiezuinige en goedkope productieprocessen met zo min mogelijk bijproducten of materiaalverlies en die zo eenvoudig mogelijk zijn qua logistiek. Bij de ontwikkeling van nieuwe materialen en een nieuw materialsysteem moet ingezet worden op het gebruik van hernieuwbare grondstoffen, veelvoorkomende elementen, niet-giftoeg materialen, maar ook materialen die de Nederlandse economie meer onafhankelijk maken van internationale dynamiek zodat stabiele circulaire waardeketens kunnen worden ontwikkeld. Via slimme materiaaltechnologie wordt het gebruik van nagenoeg niet-terugwinbare stoffen voorkomen en recycling vergemakkelijkt. Een voorbeeld is het hergebruik van de grote stromen huishoudelijk afval, sloopafval en afvalwater met waardevolle grondstoffen die na concentratie of scheiding opgewerkt worden. Recycling van diverse materiaalstromen staat nog in de kinderschoenen, zeker ook als het gaat om energie-efficiënt recyclen van vervuilde materiaalstromen, etc. en kan niet los worden gezien van andere stappen in de keten zoals

inzameling, sorteren en hergebruik. *Design from en design to recycle* zijn daarvoor belangrijke op te bouwen expertises in alle industriële waardenetwerken. In een circulair voedselproductiesysteem worden water-, energie- en nutriëntenkringlopen gesloten op de juiste schaalniveaus, variërend van lokaal tot mondiaal niveau. De ontwikkeling van een circulaire economie kan niet zonder recyclelaet en biobased materialen, maar behoeft ook inbreng van nieuwe chemicaliën en materialen die worden gemaakt uit afvalstromen zoals CO₂. Hierbij kunnen we nog veel leren van ecologische ketens en cycli, en van terugkoppelingsmechanismen en interacties in complexe adaptieve biologische systemen. Om de juiste keuzes te maken voor specifieke waardeketens is het eerdergenoemde systeembegrip en daarmee samenhangende duurzaamheidsanalyses van cruciaal belang.

Circulaire business innovatie

In een circulaire economie, waarbij economische waarde ontstaat in een industrieel en/of maatschappelijk netwerk, is circulair productontwerp in combinatie met circulaire businessinnovatie onontbeerlijk. De essentie van een circulair businessmodel is dat bedrijven posities kiezen die zijn gericht op meervoudige waardecreatie op zowel financieel, ecologisch als sociaal gebied. De nieuwe duurzame businessmodellen moeten inclusief, flexibel en veerkrachtig zijn. Deze nieuwe posities vergen voor gebruiksgoederen een andere waardepropositie zoals "product as a service" (PaaS) of deeltijdgebruik. Denk bijvoorbeeld aan het aanbieden van toegang tot een product, of het aanbieden van een resultaat. Een bekend voorbeeld is het in gebruik geven van een kopieermachine, waarbij per print wordt betaald. Het product blijft op deze wijze eigendom van de producent, die vervolgens extra waarde kan creëren. Hij kan bijvoorbeeld producten duurzaam ontwerpen zodat waarde langer behouden blijft, zorgen voor levensverlenging en betere benutting van producten tijdens de gebruiksfase, of producten na de gebruiksfase weer integraal opknappen of minimaal de onderdelen ervan geschikt maken voor hergebruik. PaaS brengt voor de 'producent' nieuwe uitdagingen mee op financieel en financieringsgebied en nieuwe modellen zullen moeten worden ontwikkeld en gevalideerd.

Maatschappelijk begrip en acceptatie

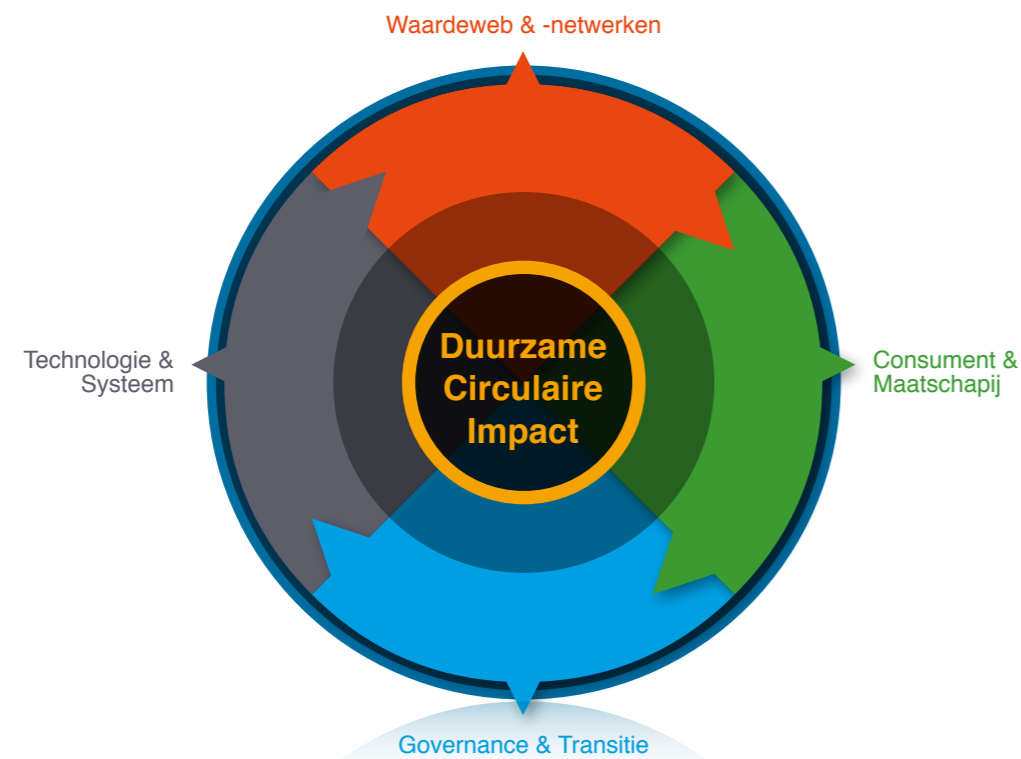
De implementatie van een circulaire economie vereist dat burgers en consumenten de kernwaarden ervan herkennen en erkennen, veranderingen die circulariteit versnellen accepteren, en de circulaire economie met hun gedrag ondersteunen. Omdat veel verschillende actoren tal van gedragingen moeten gaan veranderen, is het vooral wenselijk generieke factoren te identificeren die mensen motiveren of in staat stellen om verschillende gedragingen te vertonen die de ontwikkeling van een circulaire economie versnellen. Ook is het van belang na te gaan wanneer overgangen van het ene gedrag naar andere gedrag in verschillende domeinen en situaties kunnen plaatsvinden en hoe dit leidt tot veranderingen in leefstijlen. Vervolgens kan worden nagegaan welke interventies, beleid en businessmodellen nodig en effectief zijn om gedrag van mensen te veranderen.

Wanneer is bijvoorbeeld bewustwording effectief, of informatievoorziening ten behoeve van bewustwording, en op welk moment is het nodig om gedragsveranderingen te faciliteren of te sturen, ook via beleid? Het is van belang inzicht te hebben in de factoren die effectiviteit van bijvoorbeeld informatievoorziening, gedragsbeïnvloeding en beleid bepalen, zodat deze kunnen worden geoptimaliseerd en leerervaringen kunnen worden benut. Het effectief organiseren van inspraak en participatie kan ertoe bijdragen dat draagvlak voor een circulaire economie wordt vergroot.

Consistente beleidscontext

Het ontwikkelen van een circulaire economie als een systeemtransitie maakt gebruik van een consistente beleidscontext op alle schaalniveaus: Europees, nationaal, regionaal en lokaal. Voor een succesvolle realisatie is een collectief opgestelde agenda van leidende thema's noodzakelijk met daarin collectieve definities, ambities en indicatoren voor de komende decennia.

Traditionele top-down planning werkt hier niet, gezien de complexiteit en tijdsduur. De verschillende stakeholders zullen iteratief en gezamenlijk moeten leren hoe ze het uiteindelijke toekomstbeeld het beste kunnen invullen. Voor het realiseren van een circulaire economie is een stelselmatige aanpak nodig om



alle schaalniveaus en met aandacht voor de tijdshorizon waarop ontwikkelingen noodzakelijk zijn. In alle gevallen is samenwerking tussen de schaalniveaus en betrokken partijen een essentiële voorwaarde. Tot op heden is er onvoldoende aandacht voor de schaal- en temporele aspecten en interacties om tot een circulaire economie te komen. Daarbij gaat het bijvoorbeeld over de vraag op welke terreinen Europese landen wanneer gezamenlijk moeten optrekken en op welke gebieden men zich apart moet profileren.

Ook is aan de orde in welke situatie zelforganisatie door bedrijven en burgers het meest effectief is, en wanneer sturing of facilitering door de overheid op verschillende niveaus gewenst is. In de huidige praktijk vindt bij het werken aan de circulaire economie veel vernieuwing plaats op lokaal niveau, vaak door sociale ondernemers en/of gemotiveerde burgers. Voor initiatiefnemers en koplopers is het dus essentieel dat zij kunnen rekenen op een meerjarig consistente beleidscontext die circulariteitsdoelen ondersteunt.

Verbindingen

De wetenschappelijke vraagstukken over circulaire economie vereisen een interdisciplinaire aanpak, waarbij onderzoekers vanuit alfa-, bèta- en gamma-disciplines samenwerken in sleuteltechnologieën en sleutelmethodologieën, maar zeker ook in systeem-

theorie en systeembegrip. Nieuwe theorieën moeten hiervoor worden ontwikkeld en getest, aanpakken uit de lineaire economie zijn niet altijd houdbaar en remmen de ontwikkelingen. Een multimethode-aanpak is daarbij gewenst, zodat interne en externe validiteit gewaarborgd zijn. Denk bijvoorbeeld aan een combinatie van studie van de natuur, studie van structuur en functie van materialen en grondstoffen, experimenteel onderzoek, experimentele ontwikkeling, veldexperimenten of proeftuinen, vragenlijstonderzoek, observatieonderzoek, en kwalitatieve interviews. Het begrijpen van de interactie tussen grondstoffenleveranciers, producenten, consumenten en dienstverleners en van de samenhang tussen grondstoffen, fabricage, producten, diensten en businessmodellen, vereist een onderling afgestemde aanpak van de betrokken disciplines. Tevens moet worden voorzien in een goede doorstroming van onderzoek naar innovatie in de praktijk. Voor nog lang niet alle deelproblemen zijn oplossingen voorhanden. Derhalve moeten we gedetailleerd in kaart gaan brengen wat de meest kansrijke oplossingen zijn en welke doorbraken nog gerealiseerd moeten worden om te komen tot substantiële verduurzaming van grondstofstromen en waar mogelijk volledig circulaire productieprocessen. Het behouden en waar mogelijk vergroten van het economisch groeiperspectief van Nederland is daarbij een belangrijke randvoorwaarde.

Duurzame transitie van veilig en gezond voedsel

De Nationale Wetenschapsagenda is opgesteld aan de hand van vragen uit de maatschappij. Een van de routes die hieruit ontstond is: 'Duurzame productie van gezond en veilig voedsel', een onderwerp dat veel mensen bezig houdt. Want veranderingen in klimaat of geopolitiek maken dat het niet vanzelfsprekend is dat ieder elke dag toegang heeft tot gezond en veilig voedsel. En hoe produceren we genoeg, voor de groeiende wereldbevolking, met respect voor onze planeet? Een brede groep van vertegenwoordigers vanuit bedrijfsleven, brancheorganisaties, overheid, ngo's en onderzoeksinstituten hebben 8 zgn. gamechangers gedefinieerd. Dat zijn onderwerpen waar wij in Nederland een verschil kunnen maken op dit thema. Daarna is een plan van aanpak ontwikkeld om de in deze route gedefinieerde gamechangers ook te gaan realiseren. De uitkomsten daarvan zijn samengevat in deze brochure.

Gamechanger: Turbosynthese

Rond 2050 leven er 10 miljard mensen op de wereld. Om die allemaal te kunnen voeden, moet de landbouwproductie binnen 30 jaar verdubbeld zijn. We hebben zelfs een beetje meer nodig om fossiele bouwstenen voor de chemische industrie te vervangen door bouwstenen uit biomassa, want we moeten ook iets aan klimaatverandering doen. Het tekort aan landbouwopbrengsten is een urgent probleem: in grote delen van de wereld is de rek er wel uit. Dat geldt bijvoorbeeld voor de rijstproductie in China en de tarweopbrengsten in Europa. Door klimaatverandering wordt het alleen maar moeilijker om voldoende voedsel te produceren. De gamechanger 'Turbosynthese' richt zich daarom op het uitvoeren van onderzoek om 'de plant van de toekomst' te ontwikkelen, met hoge opbrengst, klimaatbestendig en efficiënt in het gebruik van grondstoffen.

Motor van de landbouw: fotosynthese

De oplossing kan wel eens te vinden zijn binnen in de 'motor' van de landbouw: fotosynthese. Tijdens de biologieles op de middelbare school leerden we al dat een plant zonlicht gebruikt om CO₂ om te zetten in zuurstof en suikers. De zuurstof wordt aan de lucht afgegeven en de suikers dienen als voeding voor de plant. Fotosynthese is het belangrijkste proces op aarde, want zonder fotosynthese zou

er geen landbouw en geen leven zijn. Maar het is tegelijkertijd een zeer inefficiënt proces, omdat in de landbouw een plant gemiddeld slechts 0,5 tot 1 procent van het beschikbare zonlicht gebruikt om te groeien. We weten dat er in de natuur bepaalde planten voorkomen die dit 4 tot 5 keer efficiënter doen. Dat betekent dat zoiets in de landbouw ook mogelijk zou moeten zijn. Onderzoek met modelplanten laat al zien dat met het verbeteren van de fotosynthese efficiëncystappen van 30% of meer mogelijk zijn. Dit toont aan dat de verdubbeling van de fotosynthese-efficiëntie, die nodig is om te helpen het wereldvoedselprobleem op te lossen, binnen handbereik ligt.

Turbosynthese

We weten dus dat de opbrengst van planten enorm kan toenemen door het 'motorblok van de plant', de fotosynthese, op te voeren; dit mag je terecht 'turbosynthese' noemen. Maar hoe dat precies gaat, dat moeten we nog ontrafelen door, bijvoorbeeld, het fotosyntheseproces in wilde planten grondig te bestuderen. Bovendien is er meer nodig dan alleen het opvoeren van de fotosynthese. Toekomstige gewassen zullen ook beter tegen hitte, droogte en andere stress moeten kunnen en zullen bovendien zuinig moeten omgaan met schaarse grondstoffen zoals water en fosfaat. De gamechanger Turbosynthese sluit hiermee aan bij de gamechanger

Mondiale Voedselzekerheid en raakt vanwege de hoogtechnologische aard van het onderzoek ook aan de gamechanger High-Tech & IT.

Gamechanger: Efficiënt met eiwit

Eiwitten zijn de bouwstenen voor een goede gezondheid van mensen en dieren. Die eiwitten halen we vaak uit zuivel, vlees en vis. Omdat de wereldbevolking groeit en de ongelijkheid in welvaartsverdeling toeneemt, wordt de vraag naar eiwitten groter. Om ervoor te zorgen dat alle mensen genoeg toegang hebben tot eiwitten, zijn ingrijpende systeemveranderingen nodig in de hele voedselketen. Het komt aan op efficiënt gebruik van zoveel mogelijk verschillende eiwitbronnen, optimale toepassing van eiwitten in voedsel (dier) voeding en duurzame en gezonde eiwitconsumptiepatronen. De gamechanger 'Efficiënt met eiwit' sluit aan bij de huidige initiatieven voor het gebruik van alternatieve eiwitrijke bronnen, zoals zeewier en insecten. Ook zet de gamechanger zich in voor optimaal gebruik van plantaardige ingrediënten voor voedsel- en (dier) voedingtoepassingen. We verzamelen kennis op het gebied van duurzame veilige en betaalbare eiwitten met een hoge voedingswaarde en eiwitrijke producten met een grote acceptatie door consumenten. Dat zal de kennis (export)positie van Nederland versterken.

'Efficiënt met eiwit' hanteert drie actielijnen die in samenhang met elkaar worden ontwikkeld:

1. Nieuwe kennis vergaren waarmee het mondiale eiwitvoorzieningssysteem (lokaal tot wereldniveau) verbeterd kan worden met behulp van duurzame productie, verwerking, distributie en consumptie. Belangrijke indicatoren zijn: circulariteit van grondstofstromen, teeltinnovaties, betaalbaarheid, economische rendabiliteit, milieu effecten en regionale impact.
2. Het ontwikkelen van innovaties die bijdragen aan de efficiëntie en duurzaamheid van de eiwitvoorziening. Denk aan optimale eiwitopbrengst uit gewassen, volledig gebruik van biomassa inclusief afvalstromen, omzetting van biomassa naar producten en procesoptimalisatie door middel van snelle feedback over procesverloop. Een multidisciplinaire benadering kan zorgen voor een grote verandering.

3. Kennis vergaren voor de ontwikkeling van eiwitrijke producten die bijdragen aan een gezond en evenwichtig voedingspatroon en een preventieve levensstijl gerelateerd aan voeding. Aspecten die hierbij een rol spelen: voedingswaarde, interacties tussen voeding en lichaam, gezondheid en veiligheid voor consumenten, consument diversiteit en gemak in gebruik. Hierbij kunnen zowel volledig plantaardige producten en hybride (combinatie van verschillende bronnen) producten een rol spelen. Om duurzame eiwitconsumptie te bevorderen werken we samen met gamechanger 'Keuzebekwame Consument'. De ontwikkeling van duurzaamheid (samenhang actielijn 2), en producten, zoals vleesvervangers, die volledig geïntegreerd worden in het voedingspatroon (samenhang actielijn 3) ondersteunen veranderingen in het consumptiepatroon.

Deze gamechanger bouwt voort op bestaande initiatieven voor duurzame eiwitten en komt tegemoet aan vragen over onze huidige en toekomstige eiwitvoorziening. Partijen die nationaal kunnen bijdragen zijn universiteiten, onderzoeksinstituten, ngo's, stichtingen, allianties, centra gericht op eiwittransities en de food-, feed- en technologie-industrie. Ofwel partijen die vraaggestuurde kennis kunnen ontwikkelen, beschikbaar stellen en benutten voor ingrijpende systeemveranderingen.

Gamechanger: High-Tech & IT

High-Tech & IT-ontwikkelingen in de voedselketen gaan anno 2022 razendsnel. Denk aan geavanceerde robots met sensoren, kunstmatige intelligentie (AI) en zelflerende systemen. Deze technieken leveren een belangrijke bijdrage aan productie- en verwerkingsprocessen in de voedselketen. Maar verdergaande verbetering van het management (regelen/beheersen) van de productie- en verwerkingsprocessen is nog nodig. Dat is belangrijk, want op dit moment levert de landbouw nog een te grote bijdrage aan gebruik van eindige grondstoffen. Bijvoorbeeld water voor irrigatie, fossiele energie voor productie van stikstofkunstmest en fosfaat voor bemesting. En via allerlei verliezen en emissies van ammoniak, pesticiden, antibiotica of fijnstof heeft de landbouw

een negatieve invloed op bodem-, water- en luchtkwaliteit en daarmee op de biodiversiteit en kwaliteit van onze leefomgeving. De gamechanger High-Tech & IT richt zich daarom op de ontwikkeling van hardware- en softwaretechnologie die bijdraagt aan het optimaliseren en efficiënter maken van bestaande processen en methoden én tools voor het ontwerpen en ontwikkelen van geheel nieuwe systemen. Denk daarbij aan mengteelten in de akkerbouw, vertical farming, maar ook duurzame systemen voor de kweek van insecten, vis en andere nieuwe eiwitbronnen. We ontwikkelen meetmethoden en -systemen, geavanceerde dataverwerking, modellen en regelalgoritmen en robots voor uitvoering van taken. Daarnaast ontwikkelen we ontwerpmethoden waarbij hoge mate van duurzaamheid, zonder trade-offs, wordt gecombineerd met breed draagvlak, acceptatie en economische haalbaarheid, zoals bijvoorbeeld in het NWO-programma Synergia.

Toepassing van nieuwe technologie

Toepassing van nieuwe technologie kan grote gevolgen hebben voor gebruikers, consumenten en de maatschappij. Het is daarom belangrijk om aandacht te hebben voor maatschappelijk, sociale en

economische aspecten van innovatie. Er is behoefte aan onderzoek en technische ontwikkeling waarbij de biologische processen van plant, dier, bodem en vruchten centraal staan en de techniek ondersteunend is aan het begrijpen van bestaande en te ontwikkelen van nieuwe agro-ecologische systemen. De wetenschappelijke uitdaging is om bij het meten en modelleren, en in stuuralgoritmes, om te gaan met variaties en verschillen tussen planten, bodemsoorten en klimaat. De complexiteit en onzekerheid van agrosystemen vraagt om een innovatieve aanpak en geïntegreerde oplossingen met behulp van ICT, dataverzameling en -verwerking en nieuwe High-Tech technologieën. Activiteiten binnen de gamechanger High-Tech & IT kunnen verder bouwen op de roadmap High Tech to Feed the World. Onderzoek en ontwikkeling in deze roadmap vergt een interdisciplinaire aanpak van technische disciplines (materiaalkunde, nanotechnologie, mechatronica, robotica, wiskunde en informatica, elektronica en systeem ontwerp), voedingsdisciplines (levensmiddelentechnologie), biologische/ecologische disciplines en gammawetenschappelijke disciplines. Er is een mix nodig van wetenschappelijk funderende en toegepaste kennis en kunde. Gecoördineerde financiering vanuit topsectoren A&F, T&U, HTICT, NWO, EU en bedrijfsleven is gewenst. High-Tech & IT werkt samen met de gamechangers Biodivers Groen en Blauw, Turbosynthese en Circulaire Systemen.

Gamechanger: Biodivers groen

Schaalvergroting en intensivering maken agrarische productiesystemen kwetsbaar en instabiel: de gewasdiversiteit (monoculturen) neemt af en veehouders houden grote aantallen dieren in concentratiegebieden waardoor calamiteiten en corrigerende ingrepen toenemen. Denk aan de uitbraak van dierziekten en grootschalige inzet van antibiotica in de veehouderij die humane gezondheidsrisico's zoals Q-koorts en onbehandelbare bacterie-infecties veroorzaken.

Daarnaast dragen de huidige productiesystemen bij aan klimaatverandering en zijn ze vaak weinig klimaatbestendig. Deze vorm van landbouw zorgt wereldwijd ook voor verlies aan biodiversiteit en ecosysteemdiensten. Met grote negatieve gevolgen voor natuur, samenleving en ook voor de landbouw zelf, bijvoorbeeld door de achteruitgang van natuurlijke plaagbestrijders en bestuivers. De gamechanger 'Biodiversiteit Groen' richt zich daarom op een transitie van de land- en tuinbouw naar robuuste agro-ecosystemen met (bio)diversiteit en weerbaarheid als uitgangspunt. Toekomstige bedreigingen kunnen dan naar verwachting beter het hoofd worden geboden. In plantaardige teeltsystemen komt het bijvoorbeeld aan op de ontwikkeling van mengculturen (intercropping) of agroforestry systemen waarin bomen worden gecombineerd met andere gewassen in complexere vegetatiestructuren. Die systemen ontwikkelen we deels zelf, en we onderzoeken innovaties die boeren zelf toepassen. Deze gewasdiversiteit kan resulteren in minder ziekten en plagen, efficiënter gebruik van voedingsstoffen, een efficiëntere productie en betere bodemkwaliteit.

Weerbaarheid en meervoudige opbrengsten

In dierlijke productiesystemen is het bijvoorbeeld belangrijk dat dieren een grotere weerbaarheid hebben tegen ziekten, zodat overdraagbare infecties minder kans maken. We ontsluiten nieuwe kennis over biodiversiteit en weerstand door koppeling van uiteenlopende datasets (bijvoorbeeld multi-omics), nieuwe analysetechnologie (bio-informatica, big-data-analyse), uitvoerig veldonderzoek in verschillende productiesystemen en het opzetten van grote systeemexperimenten in verschillende delen van de wereld.

Boeren en andere spelers in de voedselketen hebben behoefte aan verdiepend onderzoek naar biologische drivers die de relaties tussen plant- of dierdiversiteit, het functioneren van agro-ecosystemen en de levering van ecosysteemdiensten bepalen. De gamechanger

Biodiversiteit Groen draagt bij aan beter begrip van diverse agro-ecosystemen onder realistische omstandigheden. Daarnaast ontwikkelen we kennis over geschikte combinaties van rassen en soorten in mengteelten, multifunctionele landbouwsystemen en een bodembeheer dat gebruikmaakt van interacties tussen microbiom en rhizosfeer (het gebied van de grond rond de plantenwortels). We gaan de effecten van een grotere (bio)diversiteit, toleranties en resistenties op het niveau van genen, bodem, plant/dier en productiesysteem beoordelen op hun bijdrage aan de weerbaarheid (tegen ziekten en klimaatverandering) op bedrijfsniveau. Het voorgestelde onderzoek vergt een transdisciplinaire aanpak vanuit bèta- en gammawetenschappelijke disciplines in samenwerking met centra voor biodiversiteit en genetische bronnen, brancheorganisaties (BioNext, LTO, Plantum, Nefyto, Artemis), bedrijven en ngo's. Deelname van Omics bedrijfsleven en instituten voor biodiversiteitsinformatica is van groot belang. Aangezien gemengde teeltsystemen soms een aangepaste mechanisatie vergen, is samenwerking nodig met de gamechanger High-Tech & IT.

Gamechanger: Biodivers blauw

Vis, schelp- en schaaldieren, micro-algen en zeewier zijn belangrijke eiwitbronnen in een duurzame mariene aquacultuur. De zeevisserij staat onder druk door een toenemende vraag naar eiwitten, overbevissing, habitatvernietiging en verontreiniging van het water. Daarnaast verrijzen steeds meer wind- en zonneparken in de kustzeeën en ook zullen grote delen van de zee aangewezen worden als natuurgebied, waar visserij minder mogelijk is of helemaal niet meer wordt toegestaan. Offshore aquacultuur (kwekerijen in diepere en minder beschutte wateren op enige afstand van de kust) kan nog niet het antwoord bieden: het heeft nog vele hindernissen te nemen voordat het op grote schaal gaat worden toegepast. Om economisch en ecologisch verantwoord gebruik te maken van voedsel uit zee moet de stap worden gemaakt naar

grootschalige mariene aquacultuur van laag-trofische organismen. De gamechanger 'Biodiversiteit Blauw' richt zich daarom op het ontwikkelen en testen van nieuwe productietechnieken voor schelpdieren- en zeewierteelt op open zee. Zo start binnenkort een NWO project waarin de combinatie van zeewier en mosselteelt wordt onderzocht.

Draagkracht van kust-ecosystemen

Het is de uitdaging om te bepalen hoe groot de draagkracht is van de kustzee-ecosystemen voor grootschalige aquacultuur. Duurzame aquacultuur vereist namelijk dat de natuurlijke nutriëntenkringlopen niet te veel worden verstoord. Er moet ruimte blijven voor visserij en natuurwaarden. Naast de gevolgen van klimaatveranderingen moet rekening worden gehouden met mogelijke competitie tussen zeewier en natuurlijke plantaardige plankton om de schaarse nutriënten. In de toekomst zullen zelfs nog minder voedingsstoffen van het land weglekken naar zee door noodzakelijke veranderingen in de landbouw. Hoe groot de draagkracht van de kust-zee-ecosystemen is, bepalen we via ecosystemegericht onderzoek. Daarmee wordt productie van eiwit mogelijk, en tevens het ecosysteem in stand gehouden. Naast aandacht voor een duurzame voedselproductie die in balans is met de natuurwaarden van zeeën en oceanen (ecologische inpasbaarheid), moeten toekomstige onderzoeksprogramma's ook kijken naar een zo efficiënt mogelijk gebruik van de geogste producten. Zo kan veredeling van zeewier en schelpdieren zorgen voor hoog productieve variëteiten die bijvoorbeeld in kortere tijd meer biomassa produceren, terwijl bioraffinage veel efficiënter gemaakt kan worden. Ook de producten uit de visserij kunnen efficiënter worden benut. Nog steeds worden veel plankton-etende vissen, die dus lager in de voedselketen staan dan visetende soorten, verwerkt tot visolie en vismeel om te eindigen als voer in de varkenshouderij of de zalmkweek. Dit voedsel (haring, sardien en ansjovis) verdient een betere bestemming, want het is geschikt voor menselijke consumptie.

Gamechanger: Circulaire systemen

De lineaire landbouwsystemen in ontwikkelde landen zijn erop gericht om zoveel mogelijk voedsel te produceren. Dat levert aanzienlijke productieniveaus op per hectare land en arbeidseenheid. Maar, de eenzijdige focus op productievolumes veroorzaakt uitputting en verspilling van grondstoffen en energie, verlies van kwaliteit van landbouwgronden, milieubelasting, klimaatverandering en verlies van biodiversiteit. De maatschappelijke acceptatie voor deze manier van produceren neemt dan ook sterk af. Verandering is alleen mogelijk door een geïntegreerde benadering en synergie tussen voedselconsumptie, productie en betrokken stakeholders in de agro-food keten.

De gamechanger 'Circulaire Systemen' is de omschakeling van de huidige lineaire naar een circulaire agrarische productie. Dit houdt in dat kringlopen voor water en nutriënten zoveel mogelijk worden gesloten, en draaien op een minimum aan (hernieuwbare) energie. Dat kan op een landbouwbedrijf zijn waar zoveel mogelijk eigen grondstoffen worden (her)gebruikt, in een regio waar uitwisseling is tussen bedrijven of op een grotere schaal tussen ketens. De geografische schaal speelt hierbij dus een cruciale rol, net zoals maatschappelijke acceptatie en economische haalbaarheid. De omschakeling van de huidige lineaire landbouw naar een voedselproductie gebaseerd op kringlopen is een hele opgave. Het vraagt nieuwe geïntegreerde concepten, die in nauwe samenwerking met alle stakeholders worden ontwikkeld. De nieuwe concepten en systemen moeten natuurlijk door de consument worden geaccepteerd en ondersteund en uiteindelijk de boeren voldoende inkomen bieden. Nederlandse kennisinstellingen en het Bedrijfsleven kunnen hierin een leidende rol vervullen.

Living labs

Het onderzoek wordt uitgevoerd in proeftuinen ofwel living labs. Deze ontwikkelen circulaire landbouwconcepten en testen de methoden met de beste perspectieven op proeftuinniveau. Daarna worden de

concepten in binnen en buitenland op grotere schaal uitgerold. De systemen moeten robuust, landbouwkundig werkzaam zijn en geen negatieve bijeffecten hebben op bijvoorbeeld gezondheid of dierenwelzijn. Verder moeten de systemen economisch rendabel zijn en ook sociaal-maatschappelijk acceptabel. Tot slot moeten ze bijdragen aan een breed scala aan doelen op het gebied van biodiversiteit, klimaat, water- en luchtkwaliteit. Onderdeel van 'Circulaire Systemen' is het ontwikkelen en testen van Kritische Prestatie Indicatoren om te kunnen toetsen hoe de implementatie van de systemen bijdraagt aan biodiversiteit, klimaat, water- en luchtkwaliteit. Een living lab richt zich op de ontwikkeling van geïntegreerde oplossingen op bedrijfs-, gebieds- of regioniveau. Onderdeel ervan zijn technologieën en/of managementmaatregelen, betere afstemming van vraag en aanbod (kwantiteit en kwaliteit) van reststromen, voedsel en voeding en betrokkenheid van agrariërs, burgers, overheden en andere stakeholders. Voor dit onderzoek is een multidisciplinaire aanpak noodzakelijk met inbreng van wetenschappelijke kennis en expertise op het gebied van agrarische productiemethoden, bio-en chemische procestechnologie, complexe systemen, bedrijfsvoering, bestuurskunde, communicatie, economie en circulariteit. Universiteiten en onderzoekinstellingen leveren input maar ook de voedingsmiddelenindustrie, energie en chemieproducenten, supermarktketens, innovatief MKB, land- en tuinbouworganisaties, overheden, waterschappen en milieu- en consumentenorganisaties.

Gamechanger: Bekwame Consument

Duurzaamheid en gezondheid: het zijn wereldwijde issues die duiden op een grote urgentie om consumenten tot verantwoorde voedingskeuzes te bewegen. Verantwoorde voedingskeuzes dragen bij aan het individuele welzijn, de volksgezondheid en een gezonde wereld. De gamechanger 'Keuzebekwame Consument' richt zich daarom op het stimuleren van duurzame en gezonde consumptie op de lange termijn, met impact. Het doel? Gewoonten doorbreken, consumenten motiveren en beter informeren waardoor zij meer inzicht krijgen in hun eigen gedrag.

Daarnaast willen we bijdragen aan gedragsverandering in grote stappen voor grote groepen consumenten. Deze uitdaging is complex, want voor consumenten zijn voedselkeuzes vaak ingewikkeld en niet altijd eenduidig. Bovendien maken mensen keuzes niet alleen op basis van rationele en zichtbare overwegingen, maar spelen ook emoties en de sociale omgeving (impliciete overwegingen) een rol.

Drie voorbeelden van routes in deze gamechanger:

1. De nadruk ligt niet alleen op afzonderlijke interventies, **maar ook op de manieren waarop interventies met elkaar samenhangen**. Zo gebruiken we bijvoorbeeld 'onderzoeksinfrastructuren' om informatie en gegevens uit verschillende studies, perspectieven en disciplines te combineren. Deze worden vervolgens geharmoniseerd en vergeleken, waardoor de best presterende en meest veelbelovende gedragsmodellen kunnen worden geselecteerd voor een zo groot mogelijke impact.
2. Door de focus te verschuiven van het proberen om nieuwe inzichten op te doen naar het **vergroten van impact** kunnen transities worden versneld. Denk bijvoorbeeld aan onderzoek dat focust op het versterken van de impact op gedrag, en het combineren van kennis uit verschillende disciplines.
3. We ontwikkelen innovatieve interventies die het **gedrag op de lange termijn** kunnen veranderen, bijvoorbeeld door te sturen op competentieontwikkeling en zelf-nudging (eigen **beïnvloeding van onbewust gedrag zoals chips in de hoogste kasten en gezonde snacks op ooghoogte**). Dat kunnen we doen door ook de sociale en fysieke omgeving mee te nemen, en door te onderkennen dat zowel cognitieve als affectieve (emotionele) drijfveren een rol spelen bij consumptie. Door samenwerkingen aan te gaan, kunnen we innovatieve inzichten opdoen en bestaande inzichten samenbrengen. Samen bepalen we de waaier van bewezen interventies die grote impact kunnen hebben op

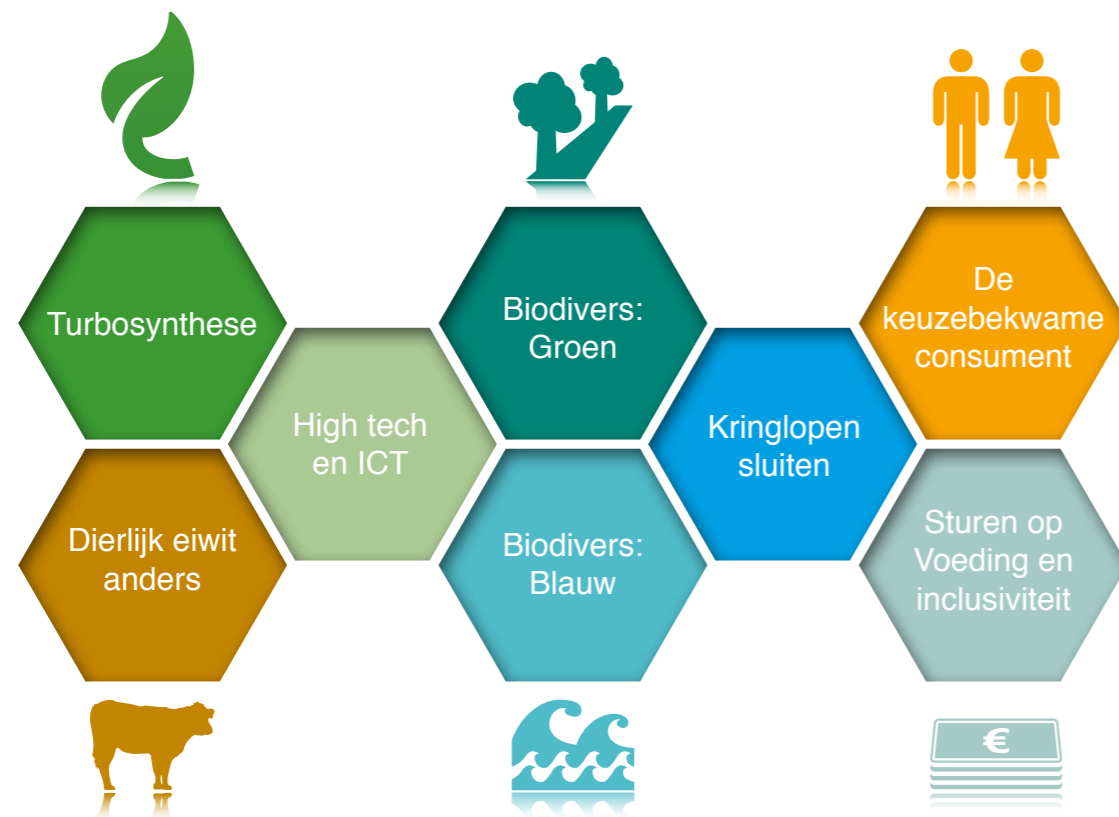
gedrag. Het hoge ambitieniveau zorgt ervoor dat alleen de meest veelbelovende en innovatieve trajecten voor gedragsverandering op lange termijn in aanmerking komen. De voorgestelde onderzoeklijnen vragen om nieuwe verbindingen tussen onderzoekers en ontwikkelaars op het gebied van de levenswetenschappen, meet- en informatietechnologie en sociale wetenschappen, en met brancheorganisaties, bedrijven en ngo's. Daarbij is een (inter)actieve betrokkenheid van de consument essentieel. De ambitie is om een grootschalige impact te realiseren met lange termijn gedragsverandering.

Gamechanger: Mondiale Voedselzekerheid

Toegang tot voldoende en gezond voedsel is voor kwetsbare of arme groepen niet vanzelfsprekend. Dit is niet alleen zo in situaties van extreme armoede en honger. Ook op andere plekken missen lage inkomensgroepen juiste of voldoende nutriënten. Zo ontbreekt het in sommige wijken of afgelegen gebieden aan winkels die gezond en betaalbaar voedsel verkopen. Hierdoor vormen overgewicht en obesitas voor steeds meer mensen een probleem. Daarnaast kent voedselvoorziening grote duurzaamheidsuitdagingen in zowel de productie als de verwerking en distributie. Denk aan erosie van natuurlijke hulpbronnen, vervuiling, voedselverspilling en groeiende afvalstromen. Productie van en toegang tot voedsel hangen nauw samen, zowel in gebieden geplaagd door schaarste als in contexten van overvloed. Middagrote en kleine bedrijven, actief in het midden van de voedselketen, zijn een spil in het creëren, in stand houden of transformeren van de verbinding tussen productie en consumptie. Deze verbinding beïnvloedt mogelijkheden tot het verduurzamen van voedselvoorziening. Daarom ontrafelt de gamechanger Mondiale Voedselzekerheid hoe bedrijven toegang tot betaalbaar en gezond voedsel organiseren en hoe zij gebruik maken van schaarse hulpbronnen.

Inclusieve voedselvoorziening

De regiefunctie van bedrijven in het midden van de keten geeft vorm aan de wijze waarop boeren en



micro-ondernemers onderdeel zijn van voedselvoorziening en aan de condities waaronder consumenten toegang tot voedsel hebben. Deze bedrijven houden zich primair bezig met het opkopen van voedsel van landbouwproducenten dat zij vervolgens verwerken, transporteren en/of distribueren als voedselproducten. Deze praktijken vormen het startpunt voor het begrijpen van de manier waarop een web van actoren voedselvoorziening eigenstandig organiseert en reguleert. Interdisciplinair onderzoek in de gamechanger Mondiale Voedselzekerheid ontleedt hoe het samenspel van logistiek, betaling, sturing, en samenwerking verloopt en actoren zowel verzekert van een redelijk inkomen als van betaalbaar en gezond voedsel.

Robuuste voedselvoorziening

Middelgrote of kleine bedrijven kunnen bijdragen aan een robuuste voedselvoorziening, vaak door

te werken met spaarzame en relatief eenvoudige aanpakken. Onderzoek verankert in het begrip frugaliteit (matigheid), dat een lange geschiedenis kent, doorgrondt het vermogen van bedrijven om bescheiden en slim gebruik te maken van beschikbare middelen en hulpbronnen. Met deze sociaal-technische lens duiden we praktijken die 'meer doen met minder voor meer'. Middelgrote of kleine bedrijven zijn dus potentiële gamechangers. Zij kunnen werken aan oplossingen waardoor meer mensen verzekerd zijn van betaalbaar en gezond voedsel, waarbij slim gebruik wordt gemaakt van minder natuurlijke hulpbronnen. Onderzoek startend vanuit lokale praktijken kan helpen dit potentiële transformatieve vermogen te vinden en te begrijpen. De gamechanger Mondiale Voedselzekerheid beoogt dit transformatieve vermogen te delen, repliceren en op schaal te brengen via integratie in innovatie op sector, nationaal en mondiaal niveau en in curricula in het hoger onderwijs.

Energietransitie

Bouwen aan een duurzame, betaalbare en zekere energievoorziening en een sterke, groene kenniseconomie; dat is het doel van deze route. Om de mondiale temperatuurstijging nog onder de 2° Celsius te kunnen houden en energiezekerheid te kunnen garanderen in een snel veranderende geopolitieke context, moeten we ons energiesysteem ingrijpend en snel transformeren. Met een integrale aanpak kan Nederland een plaats verwerven in de mondiale kopgroep van landen op het gebied van de energietransitie. Dat biedt ook de kans om een sterke, groene kenniseconomie op te bouwen. Daarmee creëren we hoogwaardige werkgelegenheid en versterken we onze exportpositie.

Nederland heeft in de afgelopen jaren belangrijke stappen gezet op de weg naar een duurzame energiehuishouding. De urgentie en complexiteit van de transitie en de toenemende internationale concurrentie maken echter dat er veel meer nodig is, zowel in kwalitatief als in kwantitatief opzicht. Zo worden economisch aantrekkelijke technische bouwstenen niet vanzelf op grote schaal toegepast en leidt zorgvuldig ontworpen stimuleringsbeleid niet automatisch tot succes in de markt voor duurzame energietechnologieën.

De gamechanger voor de succesvolle transitie naar een duurzame en zekere energievoorziening is een integrale aanpak van technologische, maatschappelijke, economische, juridische en ruimtelijke uitdagingen, waardoor excellente bouwstenen snel en op grote schaal zullen worden toegepast.

Samenwerking is vereist tussen technische en natuur- wetenschappen, maatschappij- en gedragswetenschappen en geesteswetenschappen; tussen overheid, kennisinstellingen, bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties; en tussen uiteenlopende economische sectoren. Urgentie, complexiteit en toenemende concurrentie impliceren daarnaast dat een hoger ambitieniveau op het gebied van energie-innovaties noodzakelijk is om Nederland maximaal economisch te laten profiteren van de kansen die de mondiale transitie biedt. Deze route raakt het hart van het Nederlandse energie- en klimaatbeleid en sluit aan bij de *Integrale Kennis en Innovatieagenda (IKIA) onderliggend aan het Klimaatakkoord*.

Tien uitdagingen voor de energietransitie

Deze route beschrijft tien belangrijke en urgente uitdagingen die in een multidisciplinaire langetermijn-programmering moeten worden aangepakt, in een innig samenspel tussen publieke en private partijen, en uit-

drukkelijk ook in onderlinge samenhang. Om succesvol te zijn, moet zo'n programma alle aspecten omvatten van funderend onderzoek tot en met ontwikkeling, demonstratie en implementatie, inclusief living labs. Alleen zo kunnen baanbrekende innovaties snel en op grote schaal hun weg vinden naar maatschappij en markt, en de energietransitie daadwerkelijk versnellen. En alleen op deze manier kan Nederland zijn economische kansen grijpen in deze zeer competitieve internationale sector.

Gebouwen als energiecentrale en vervoermiddelen als energiebuffer

Gebouwen en vervoermiddelen kunnen niet alleen veel energie-efficiënter worden, maar ook een actieve rol gaan spelen in het energiesysteem. Nieuwe en betere technologieën, producten en diensten leveren de hoogst haalbare energieprestaties op van gebouwen, gebouwclusters of gebieden, en combineren die met comfort, gemak, aantrekkelijkheid en lage gebruikskosten. Snelle, goedkope, risicoarme en weinig belastende 'diepe renovatie' van bestaande gebouwen maakt het mogelijk om de grote bestaande voorraad succesvol te laten bijdragen aan de energietransitie. Gebouwen en vervoermiddelen zijn geschikt om als buffer te dienen tussen variabel energieaanbod en energievraag voor lage-temperatuur (rest)warmte of elektriciteit; marktmodellen en regelgeving zijn geoptimaliseerd voor toepassing van zulk gebruik; eigenaren, exploitanten en gebruikers worden daartoe gestimuleerd en gemotiveerd.

Schone en flexibele industrie

De industrie zal een transformatie ondergaan van alleen energiegebruiker naar gebruiker van energie én leverancier van flexibiliteit en opslag. Toekomstige productieprocessen hebben geen netto CO₂-uitstoot,



een veel hogere energie-efficiëntie en maken gebruik van duurzame grondstoffen. Duurzame energie in de vorm van elektriciteit en warmte zal in de plaats komen van energie uit fossiele brandstoffen. Biomassa en afgevangen CO₂ en stikstof uit de lucht vormen nieuwe, duurzame grondstoffen, met potentieel negatieve emissies. Deze omslag vergt technologieën en processen die grondstoffen- en energie-efficiënter zijn dan de huidige, die voldoende flexibel zijn om variaties in aanbod uit duurzame bronnen op te vangen en die lage investeringskosten hebben. Deze transformatie leidt op langere termijn tot het sluiten van kringlopen en tot regio's die in belangrijke mate zelfvoorzienend zijn wat betreft energie en grondstoffen.

Elk oppervlak wekt duurzame energie op. Opwekking van duurzame energie is een belangrijke pijler onder de duurzame energiehuishouding. Daarbij gaat het om efficiënte en goedkope zonne-energie, windenergie en aardwarmte die op een aantrekkelijke en maatschappelijk geaccepteerde wijze grootschalig passen in de beperkte ruimte in Nederland: gebouwen, infrastructuur, landschap, water en ondergrond. Het omzettingrendement van zonlicht naar stroom moet verdubbelen en er moeten flexibele oplossingen worden ontwikkeld voor integratie van zonnecellen in gebouwen en andere objecten. Productie van brandstof met behulp van zonlicht wordt een volwaardige bouwsteen voor het energiesysteem. De zee wordt gebruikt om zonne- en windenergie op te wekken, bio-energie en -materialen te leveren en energie op te slaan, en de waarde van offshore windenergie wordt verhoogd. Aardwarmte wordt op economisch verantwoorde en duurzame wijze ingezet. Een integraal model voor de inrichting van de leefomgeving ondersteunt de grootschalige inpassing van duurzame energieopwekking.

Intelligente energiesystemen

Geavanceerde ICT, in samenhang met slimme netten, is nodig om centrale en decentrale onderdelen van het complexe energiesysteem en haar gebruikers op een effectieve en efficiënte manier gezamenlijk te laten werken en de betrouwbaarheid, beschikbaarheid en betaalbaarheid op elke tijdschaal te garanderen. Het verzamelen en benutten van gegevens die relevant zijn voor opwekking, opslag, distributie en gebruik is daarbij cruciaal. ICT kan bovendien gebruikers stimuleren tot duurzaam energiegebruik en kan gebruikt worden om energiebesparingen te verwezenlijken. Acceptatie,

ethische aspecten, autonomie, robuustheid, privacy en cyber security zijn hierbij kritische ontwerpfactoren.

Van stroom naar brandstof en warmte

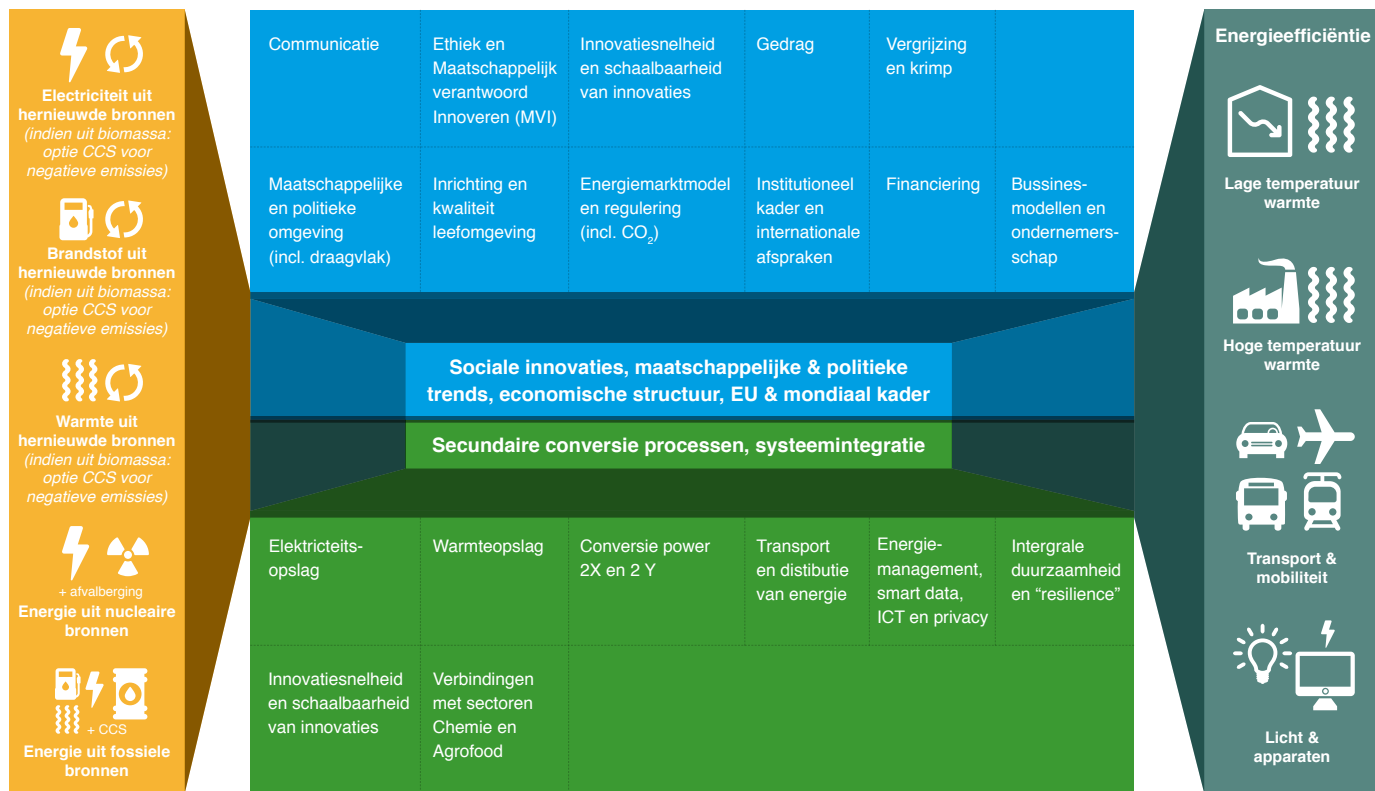
Delen van de transportsector, zoals luchtvaart en vrachtvervoer, en van de industrie zijn afhankelijk van brandstoffen met hoge energiedichtheid en van hoge-temperatuurwarmte (met name warmte hoger dan 100 -120 °C nodig voor chemische processen). Om deze sectoren te verduurzamen zijn schaalbare, goedkope en efficiënte chemische processen nodig die elektrische energie met behulp van biomassa, afgevangen CO₂, stikstof en water omzetten in brandstoffen. Daarnaast zijn technieken nodig om elektriciteit efficiënt en goedkoop om te zetten in hoge-temperatuurwarmte. Om deze processen en technieken te kunnen ontwikkelen, is onderzoek nodig naar nieuwe efficiënte elektro-katalytische en elektrochemische processen met grote productselectiviteit, en naar nieuwe katalysatoren gebaseerd op veel voorkomende elementen.

Omgaan met variaties

In ons nieuwe energiesysteem variëren vraag en aanbod van energie sterk in tijd en plaats. Daarom is onderzoek naar en ontwikkeling van flexibiliteit aan de kant van de energieconsumenten noodzakelijk, waarbij gebruikersgedrag en -acceptatie belangrijke factoren zijn. Daarnaast is de ontwikkeling van balancerings-, transport-, distributie- en opslagtechnologieën voor elektriciteit en andere energiedragers noodzakelijk. Om een maatschappij te creëren waarin het variërende aanbod op verschillende tijdschalen van duurzame energie optimaal past, moeten we een effectieve economische inrichting en nieuwe bestuursmodellen en juridische kaders ontwikkelen.

Metten, begrijpen, aanpassen

Het is cruciaal om het effect van de energietransitie op de emissie van CO₂ en andere broeikasgassen te meten en te begrijpen hoe gereduceerde emissies de ingezette klimaatverandering beïnvloeden. Ook moet verder gebouwd worden aan het in kaart brengen van de broeikasgasemissies van individuele producten in de productieketen. Naast de uitstoot van broeikasgassen worden ook neveneffecten gemeten, zoals verbetering van de luchtkwaliteit. Dit begrip kan worden gebruikt om de ingezette koers te optimaliseren. Omgekeerd moet ook het inzicht in de effecten van klimaatverandering op het energiesysteem en daarbui-



ten worden vergroot, zodat negatieve effecten proactief beperkt kunnen worden. Een effectieve communicatie over de resultaten met alle betrokkenen is hierbij onontbeerlijk.

Snel naar een CO₂-neutrale maatschappij

Het volledige omschakelen naar een CO₂-neutraal energiesysteem binnen enkele decennia vergt een ongekend hoog tempo van innovatie en maatschappelijke verandering. Sociale, maatschappelijke, economische en juridische instrumenten die de basis vormen voor zeer snelle innovatie en toepassing van nieuwe praktijken moeten worden ontwikkeld. Een grote uitdaging ligt in het tijdens de transitie betaalbaar houden van het energiesysteem voor de eindgebruiker. Goed onderbouwde beleidskeuzes en een effectieve interactie tussen burgers, de publieke en de private sector zijn hiervoor essentieel. Bijzondere aandacht is ook nodig voor mogelijkheden om negatieve CO₂-emissies te realiseren en zo de overschakeling naar een CO₂-neutraal energiesysteem verder te versnellen.

Een CO₂-neutrale samenleving is anders

Een CO₂-neutrale maatschappij zal er waarschijnlijk heel anders uitzien dan de huidige op fossiele brandstoffen gebaseerde samenleving. Het is belangrijk om een goed begrip te krijgen van de veranderingen die ten gevolge van het transitieproces naar een CO₂-neutrale maatschappij zullen plaatsvinden. Inzicht in maatschappelijke ontwikkelingen binnen en buiten de energiesector is nodig om het transitieproces te sturen

en zo nodig bij te sturen. Elementen van deze transitie zijn bijvoorbeeld een andere inrichting van de ruimte, de overgang naar circulaire processen, nieuwe transportvormen, de infrastructuur voor de energiedragers en veranderende levensstijlen. De mate van maatschappelijke acceptatie van bepaalde oplossingen is medebepalend voor het succes van het transitieproces en de inrichting van de samenleving.

De Nederlandse transitie in mondiale context

De transitie naar een duurzaam energiesysteem is een mondiaal proces en vereist daarom een mondiale aanpak. Daarbij gaat het om internationale samenwerking op het gebied van onderzoek en beleid om van elkaar te leren, te begrijpen welke belangentegenstellingen een duurzame energietransitie belemmeren, waarom deze er zijn en hoe belangen op elkaar kunnen worden afgestemd. Dit vraagt een coherente aanpak waarbij kosten en baten van de transitie eerlijk worden verdeeld. Het vraagt ook inzicht in culturele verschillen in voorkeur, gedrag en acceptatie en in mogelijkheden om mondiale toegang tot energie te garanderen, terwijl de leveringszekerheid in eigen land behouden blijft en klimaatproblemen afnemen. Een integrale, mondiale ketenanalyse van energie- en materiaalstromen en inzicht in de effecten van de energietransitie op mens en milieu, maken het mogelijk om de energietransitie op een maatschappelijk verantwoorde wijze uit te voeren. 'Denk globaal, handel lokaal'.

Preventie en gezondheidszorgonderzoek

In 2030 zullen in Nederland 7 miljoen mensen één of meer chronische aandoeningen hebben; dat is 40 procent van de bevolking. De druk op de gezondheidszorg neemt hierdoor toe. Financiële en personele tekorten zijn onvermijdelijk als er niet snel op verschillende terreinen tegelijk wordt ingegrepen. Een nieuwe kijk op gezondheid, met aandacht voor verschillen tussen mensen en een betere aansluiting bij hun persoonlijke beleving en de context waarin zij leven, is noodzakelijk om Nederland gezonder te maken.

Binnen deze route zijn *drie gamechangers* te onderscheiden:

1. De brede definitie van gezondheid

Gezondheid zien we op de eerste plaats als voorwaarde om de dingen te doen die mensen belangrijk vinden: meedoen, functioneren, je eigen leven leiden. Dat is een bredere definitie van gezondheid dan die van vanuit het biomedisch model, waarin ziekten centraal staan. We streven naar het bevorderen van 'positieve gezondheid', waarbij de wensen, waarden en voorkeuren van het individu en van het collectief op diverse levensdomeinen richtinggevend zijn. Om gezondheid te kunnen realiseren, moeten we oog hebben voor variatie in gezondheid. Bijvoorbeeld voor variatie in normen, waarden en doelen maar ook voor variatie in leefstijl, gedrag, leefomgeving,

erfelijke aanleg, sociaal economische positie en vooral in de reactie van het lichaam op gezonde en ziekmakende prikkels. Aanvullende kennis op het vlak van uitkomstmaten en methodologie is nodig. Essentieel voor preventie- en gezondheidsonderzoek is ook een brede, interdisciplinaire benadering, waarbij de inbreng van burgers/patienten, organisaties en co-financiers een belangrijke rol spelen.

2. Investeren in preventie

Voor een gezonde toekomst van de samenleving en een betaalbare gezondheidszorg, is preventie cruciaal. Daarbij is bestaande kennis niet genoeg. Het lukt bijvoorbeeld nog veel te weinig om kwetsbare groepen te bereiken, zoals mensen met een lage sociaaleconomische status en kwetsbare ouderen. Onderzoek is nodig naar de wisselwerking tussen individu en omgeving in de ruimste zin van het woord. Naast preventie op groeps- en populatieniveau moeten de mogelijkheden voor gepersonaliseerde preventie worden onderzocht en toegepast. Ook is het belangrijk om te onderzoeken hoe preventie structureel in de maatschappij verankerd kan worden. Veel winst is te behalen als vanuit een systeemperspectief alle factoren – ook die van sociale, psychologische en economische aard – worden betrokken.

Grootschalige gegevensbestanden (big data) kunnen veel nieuwe inzichten opleveren voor gerichte preventie van aandoeningen als depressie en angststoornissen en van leefstijl-gerelateerde ziekten zoals diabetes, kanker en hart- en vaatziekten. Preventie draait niet alleen om het voorkomen van de aandoeningen zelf, maar ook om het bevorderen van (arbeids)participatie, het voorkomen van eenzaamheid, van immobiliteit en al die andere problemen die er toe leiden dat iemand niet in staat is zijn leven naar eigen inzichten te leiden.



3. Integratie van zorg

Gericht onderzoek op het gebied van public health, zorg en zorgsystemen is nodig, ook om bevindingen uit het buitenland goed te kunnen toepassen in de Nederlandse situatie. De zorg van de toekomst vraagt om een nieuwe kijk op de rol van zorgprofessionals, burgers, onderzoekers en organisaties. Positieve gezondheid lijkt mede te worden bepaald door de hoeveelheid groen in een wijk, de sociale cohesie, het ontbreken van schulden, de mate waarin mensen worden aangemoedigd om te fietsen en trappen te lopen en de inrichting van een supermarkt of schoolgebouw. Het wetenschappelijk bewijs daarvoor is echter nog beperkt. Onderzoek duidelijk maken wat er nodig is voor structurele implementatie en opschaling van interventies en hoe duurzame verbeteringen van zorgprocessen mogelijk worden.

Data-infrastructuur en Data science

Een geavanceerde data-infrastructuur van bestaande en nieuwe onderzoeken en registraties is een belangrijke concrete voorwaarde voor de hier geschetste ontwikkelingen. Voor preventie is meer data uit andere bronnen nodig, van gemeenten tot bouwbedrijven, van supermarkten tot sportscholen en van Social media tot gezondheids-apps. Op dit moment zijn daar nog onvoldoende mogelijkheden voor, vanwege bezorgdheid over privacy, maar ook onvoldoende bereidheid tot het beschikbaar stellen van datasets. We zetten in op onderzoek naar de technische, ethische, juridische en maatschappelijke aspecten van de toegang én het gebruik van gezondheids-data. Dit houdt ook in: het ontwikkelen van nieuwe methoden om beschikbare data te benutten. Data science heeft een hoge prioriteit, zowel in onderzoek als het opleiden van deskundigen op dit gebied.

Technologie en Health Technology Assessment

Technologische ontwikkelingen zijn een essentiële schakel in het verbeteren van de gezondheid. We bouwen voort op baanbrekende technologische ontwikkelingen, zoals sensoren en apps voor smartphones. En we zetten in op de ontwikkeling van gerichte techniek, zoals intelligente meetapparatuur, *labs-on-a-chip*, nanomedicine en technologieën op het terrein van onder andere genomics, *metabolomics* en *proteomics*. Voor een optimale technologische ontwikkeling is een samenwerking tussen wetenschap, bedrijfsleven en gebruikers in het gehele ontwikkelproces essentieel. Dat geldt ook voor de evaluatie van technische toepassingen: om zo kwaliteit te waarborgen en te voorkomen dat technische ontwikkelingen leiden tot nodeloze kostenstijgingen (*Health Technology Assessment*).

Nieuwe vormen van samenwerking

Originele en nieuwe vormen van samenwerking, onderzoeksdesign en data-analyse nodig zijn voor preventie en voor innovatief gezondheidszorgonderzoek. De ontwikkelingen die nu al gaande zijn, bijvoorbeeld op het gebied

van samenwerking tussen universitair medische centra, technische universiteiten, sociale faculteiten, toegepaste kennisinstellingen en hogescholen en maatschappelijke organisaties worden uitgebreid. Mogelijkheden voor co-creatie, met patiënten, bedrijven en andere stakeholders die nu nog niet aan tafel zitten, worden verkend. Ineffectieve of zelfs schadelijke vormen van wetenschap worden in kaart gebracht.

Financiering en nieuwe financieringsvormen

Om de zorg toekomstbestendig te maken is een forse investering op preventie nodig. Traditioneel zijn investeringen in preventie (onderzoek) bescheiden ten opzichte van de totale kosten van de zorg. Dit moet meer in balans worden gebracht en nieuwe vormen van financiering van programma's zijn nodig. Interdisciplinaire samenwerking en integratie van aanbieders en financiers verdient meer aandacht. Soms zijn aanpassingen van regels nodig, zodat bijvoorbeeld verzekeraars mee kunnen investeren in onderzoek. Ook nieuwe vormen van het publiceren van resultaten en andere manieren om wetenschappelijke output te meten, kunnen bijdragen aan gewenste innovaties in het wetenschapsbedrijf.

Jeugd in ontwikkeling, opvoeding en onderwijs

De 21ste eeuw plaatst ons voor uitdagingen op het gebied van technologie, internet, relaties, etnisch-religieuze diversiteit, werkgelegenheid, duurzaamheid, verstedelijking en globalisering. Dit vergt een nieuwe kijk op de manier waarop wij onze jeugd voorbereiden op hun toekomst. We investeren in nieuw onderzoek over en met jeugd, dat kan bijdragen aan een gezonde, veilige en rechtvaardige samenleving voor een nieuwe generatie.

Wat hebben kinderen en jongeren nodig aan opvoeding, onderwijs en begeleiding zodat zij nu en in de toekomst positief kunnen bijdragen aan de samenleving in de 21ste eeuw? Dat is het centrale vraagstuk binnen deze route. Dit sluit aan bij de groeiende maatschappelijke vraag naar bewezen effectieve en rechtvaardige manieren om het welzijn en de ontwikkeling van kinderen en jongeren te bevorderen, zodat zij kunnen opgroeien tot volwassenen die een positieve bijdrage kunnen leveren aan de samenleving van de toekomst. Goed onderwijs vormt, samen met effectieve preventie en interventies in opvoeding en educatie, de sleutel tot succes op vele gebieden van menselijk functioneren. Zo lichte significante reductie van maatschappelijke kosten in het verschiet, gerelateerd aan onder andere de gezondheidszorg, sociaaleconomische achterstanden en criminaliteit. Andersom draagt een goedopgeleide generatie, met kritische en betrokken burgers, direct bij aan een veilige, gezonde en rechtvaardige maatschappij. De kennis die deze route zal opleveren is daarmee essentieel voor een sociaal en economisch succesvolle samenleving.

Gamechangers

Deze route kiest een vernieuwende invalshoek door kinderen en jongeren centraal te stellen in een integratieve wetenschapsagenda. Hieruit volgen ten minste drie belangrijke vraagstukken die als gamechangers in onderzoek kunnen fungeren:

Leren en ontwikkelen in verschillende contexten

Jeugdigen leren en ontwikkelen zich binnen verschillende contexten, relaties en netwerken. Die contexten zijn tot nu toe te weinig in samenhang bestudeerd.

Onderzoek naar de complexe wisselwerking tussen de diverse sociale contexten waarbinnen kinderen en jongeren opgroeien, kan tot nieuwe inzichten leiden over de ontwikkeling van de huidige generatie jeugdigen. Hoe kan het onderwijs beter gebruikmaken van wat kinderen thuis, online en elders leren? Hoe kunnen ouders effectiever worden betrokken bij het onderwijs op school, en thuis bijdragen aan de cognitieve en sociale ontwikkeling van kinderen? Welke vaardigheden moeten leraren en andere professionals hebben om de behoeften van kinderen centraal te stellen en hen actief te motiveren om te leren? Hoe kunnen verschillende vormen van leren binnen en tussen contexten effectief worden ingezet voor de optimale ontwikkeling van jeugdigen en de preventie van leerproblemen of sociaalemotionele problemen? En wat vraagt dit van het onderwijs, van ouders, en van professionele opvoeders? Ook binnen ontwikkelingscontexten zijn belangrijke deelgebieden aan te wijzen die een meer integratieve onderzoeksbenadering vereisen, zoals doorgaande leerlijnen tussen voorschools, primair, voortgezet en hoger onderwijs of verschillende fasen in de gezinsontwikkeling en de relaties tussen verschillende gezinsleden. Met deze benadering wordt recht gedaan aan de complexiteit van de ontwikkeling van de jeugd in verschillende contexten en verschillende ontwikkelingsfasen.

Diversiteit en ongelijkheid

De grote diversiteit aan achtergronden en kenmerken van jeugdigen gaat nog te vaak samen met ongelijkheid in uitgangspunten, kansen en effectiviteit van preventie en interventies. Er is onderzoek nodig naar de factoren die een rol spelen in de intergeneratiele overdracht van achterstand en risico, uiteenlo-



Normativiteit van opvoeding en onderwijs

Waarom willen we opvoeden en opleiden? Voorstellen voor de kennis, vaardigheden en houdingen die in de toekomst nodig zullen zijn – zoals probleemoplossend vermogen, creatief denken, burgerschap, of digitale geletterdheid – ontstaan altijd vanuit een bepaald perspectief. De onderliggende normen en doelen van opvoeding, onderwijs en ontwikkeling zijn echter zelf zelden expliciet onderwerp van discussie of bestudering in praktijk en onderzoek. Theoretisch onderzoek is noodzakelijk om nieuwe opvoedings-, ontwikkelings-, en onderwijsdoelen te funderen. Empirisch onder-

zoek is nodig voor het beantwoorden van vragen als: wat zijn de belangen van kinderen in de 21ste eeuw volgens opvoeders, onderwijs- en jeugdzorgprofessionals, en welke rol spelen culturele en sociaaleconomische factoren daarin? Is er voldoende waarborg voor de belangen en rechten van kinderen in beleid en praktijk van opvoeding, onderwijs en begeleiding? Bieden de huidige psychologische, pedagogische en onderwijskundige kaders voldoende houvast voor ouders, leraren en andere professionals? Hoe kunnen we de jeugd betrekken bij de vraag wat voor haar van belang is voor hun toekomst? Dergelijke vragen

pend van laaggeletterdheid tot kindermishandeling. Daarnaast is onderzoek nodig hoe deze overdracht te doorbreken. Ook vormen van ongelijkheid die ontstaan door bestaande en nieuwe structuren en praktijken in onderwijs en opvoeding – zoals vroege selectie, omgang met meertaligheid, en de opkomst van schaduwonderwijs – verdienen bestudering. Kennis over individuele verschillen in ontwikkeling en leren, ontwikkeld door middel van onderzoek en vertaald naar gepersonaliseerde interventies en opvoedings- en leeromgevingen, levert nieuwe inzichten op. Hoe kunnen bijvoorbeeld toetsing en beoordelingen optimaal benut worden voor begeleiding en advisering

die recht doen aan de capaciteiten van een kind? Tot slot moet onderzoek zich richten op de vraag hoe de kracht van diversiteit in de ontwikkeling van de jeugd herkend en gestimuleerd kan worden. Welke pedagogische en onderwijskundige interventies zijn effectief in het bevorderen van sociale cohesie, zodat diversiteit een positieve in plaats van een belemmerende factor is in buurten, scholen en steden? Door diversiteit en ongelijkheid op alle niveaus te bestuderen – van individueel niveau tot beleidsniveau – krijgt onderzoek naar deze vraagstukken een nieuwe impuls en wordt een directere vertaling naar beleid en praktijk mogelijk.

grijpen terug op kernvragen van de pedagogiek, en zijn cruciaal voor het leggen van een solide basis voor het type wetenschappelijk onderzoek dat antwoorden oplevert voor maatschappelijke vraagstukken.

Verbindingen

Om het centrale vraagstuk binnen deze route te kunnen beantwoorden is een combinatie nodig van fundamenteel onderzoek, praktijkgericht onderzoek en beleidsonderzoek. Expliciete aandacht voor de toepasbaarheid van wetenschappelijke inzichten in de concrete praktijk van opvoeding, onderwijs, jeugdzorg en de gezondheidszorg, naast expliciete aandacht voor kennis van professionals in de praktijk, verbindt deze verschillende typen onderzoek. De verbinding in de route tussen onderzoek en praktijk is expliciet tweerichtingsverkeer, of anders gezegd multirichtingsverkeer: omdat de ontwikkeling van de jeugd in een veelheid van contexten plaatsvindt is ook een verbinding tussen disciplines noodzakelijk. De traditionele disciplines in jeugdonderzoek zoals pedagogiek, ontwikkelingspsychologie, en onderwijswetenschappen worden in deze route verbonden met verwante disciplines zoals jeugdrecht, sociologie, cognitieve psychologie, neurowetenschappen, taal- en communicatiewetenschappen, medische wetenschappen, filosofie, en ethiek. Disciplines die zich van oudsher minder met jeugd bezighouden, maar wel cruciaal zijn voor een integratieve aanpak, zoals bestuurskunde, veranderkunde en planologie, zijn eveneens ingebed.

In deze route wordt expliciet gekozen voor de verbinding van wetenschappelijk empirisch onderzoek met de rijke ervaring van de jeugd zelf en met de praktijkkennis van professionals die dagelijks werken met kinderen en adolescenten, zoals leraren, jeugdzorgmedewerkers, en jeugdartsen. Dit geldt voor alle lopende onderzoeksprojecten en was ook een belangrijke component in de opzet van de vijf onderzoeksprojecten van het driejarige Startimpulsprogramma van deze route: 'Gelijke kansen voor een diverse jeugd'. Praktijkprofessionals waren vanaf het allereerste begin betrokken bij de onderzoeksopzet en -uitvoering. Dit heeft tot inzichten geleid die in de praktijk direct toepasbaar zijn en zelfs tot concrete hulpmiddelen, zoals een 'thermometer' om de sociale cohesie in klassen in kaart te brengen; een serious game om bij leerlingen bewustwording over sociale cohesie op gang te brengen; lessen over stress en

faalangstrainingen voor jongeren en een reflectietool die professionals in de jeugdgezondheidszorg helpt nadenken over hun manier van werken.

De uitwisseling tussen wetenschap en praktijk kan zorgen voor betere aansluiting van onderzoek bij de behoeften en expertise in de samenleving. Een project waarin dit tot uiting komt is de Kennisrotonde Jeugd, waar we vragen uit de praktijk beantwoorden op basis van bestaande wetenschappelijke kennis.

Naar de toekomst

Om de beoogde veranderingen daadwerkelijk te laten plaatsvinden is het noodzakelijk nieuwe multi- en interdisciplinaire onderzoeksprogramma's op te zetten. Voor onderzoeksactiviteiten die voortkomen uit vragen van praktijkinstellingen en professionals is een structurele samenwerkingsstructuur onontbeerlijk. Om de impact van de route te vergroten ontwikkelen we daarom een plan voor het opzetten van academische werkplaatsen, gericht op de *drie gamechangers*. Die werkplaatsen faciliteren en stimuleren het multi-richtingsverkeer tussen professionals in de praktijk en onderzoekers in verschillende disciplines. In deze werkplaatsen moet blijken of interventies die onder andere in deze samenwerkingsverbanden het licht zagen daadwerkelijk resultaat hebben.

Deze route heeft de jeugd in al haar ontwikkelingscontexten tot speerpunt gemaakt. Hierdoor krijgt een coherente en integratieve benadering van de genoemde thema's die spelen rondom onderwijs, opvoeding en ontwikkeling van de jeugd een plek binnen de Nationale Wetenschapsagenda. Dit is van belang omdat veel grote maatschappelijke uitdagingen vragen om een meer integraal perspectief, waaronder het jeugdperspectief. Zo ontstaat beter zicht op wat de jeugd nodig heeft in opvoeding en onderwijs voor optimale ontwikkeling en positieve bijdrage aan de samenleving.

Voor meer informatie:

Nwa-jeugd.nl

Gelijkekansenvooreeniversejeugd.nl

Kennisrotonde.nl

Kunst: onderzoek en innovatie in de 21^{ste} eeuw

De kunsten stellen belangrijke vragen over de betekenis en impact van maatschappelijke ontwikkelingen en nieuwe technologieën. Ze spelen niet alleen een belangrijke rol in de verbeelding van deze ontwikkelingen via bijvoorbeeld verhalen, beelden, films, games en installaties, maar bieden ook scenario's die tot nadenken stemmen over politieke of ethische implicaties. Daarnaast dagen ze uit tot nieuwe, innovatieve oplossingen.

Deze route is erop gericht verbindingen te leggen tussen de praktijk en het onderzoek van kunstenaars en ontwerpers, het geestes-, sociaal- en natuurwetenschappelijk onderzoek, en de creatieve bedrijven en maatschappelijke instellingen die gericht zijn op de instandhouding, de verspreiding en de ontwikkeling van cultuur. In de onderliggende vraagstukken worden creativiteitsonderzoek, cultuuranalyse, wetenschaps- en technologiestudies, en artistiek en ontwerp onderzoek verbonden met urgente ontwikkelingen in technologie, ethiek, zorg en educatie. Verbindingen tussen wetenschap en kunst verrijken het wetenschappelijk en maatschappelijk discours. Zo kunnen zij ethische aspecten van nieuwe ontwikkelingen ter discussie stellen, zoals bijvoorbeeld in het domein van bio art and design. Nieuwe verbindingen tussen hoger kunstonderwijs, universiteiten, erfgoedinstellingen, presentatie-instellingen, festivals en creatieve bedrijven zijn van groot belang om het ecosysteem van de kunsten te versterken en een expliciete krachtige bijdrage te kunnen leveren aan de maatschappij.

Gamechangers

Het primair vernieuwende van deze route is dat kunstenaars en ontwerpers, de sociale, geestes- en natuurwetenschappen, het kunstvakonderwijs,



culturele bedrijven en de creatieve industrie zich met elkaar verbinden en inzetten op een gezamenlijke onderzoeksagenda. Drie vraagstukken zullen in deze samenwerking van kunst, wetenschap en maatschappij geadresseerd worden.

Kunsten als motor voor innovatie en reflectie in een hightechsamenleving

Creativiteit is essentieel voor een zich voortdurend vernieuwende kennissamenleving. In de kunsten en de ontwerppraktijk staat die creativiteit standaard al centraal. Het artistieke experiment kan model staan voor maakprocessen in andere domeinen. De kunsten leveren zo een perspectief op vraagstukken in die andere domeinen, zoals de zorg, het management of de politiek. Toegepaste kunst- en ontwerppraktijken kunnen onvermoede perspectieven bieden op maatschappelijke, economische, politieke en technologische vraagstukken. Een kennissamenleving die gebruik weet te maken van dit potentieel, kan beter inspelen op nieuwe contingenties die zich aandienen. Deze gamechanger heeft ook betrekking op de impact van technologie en digitalisering op onze ervaring van mens-zijn. Wat het betekent om mens te zijn en hoe we onszelf organiseren en steeds weer opnieuw uitvinden: dat zijn eeuwenoude filosofische vragen. De kunsten stellen deze vragen evenzeer en reiken alternatieve vormen van kennis en inzicht aan die steeds belangrijker zullen worden naarmate de technologie dieper alle aspecten van het mens-zijn bepaalt, vooruitgang creëert maar ook steeds weer nieuwe en soms onvoorspelbare problemen opwerpt. Technologie is een fundamenteel onderdeel van mens-zijn. Maar de technologie van vandaag is steeds onzichtbaarder, en daardoor ook on(begrijpbaar)der geworden. Kunst is in staat deze onzichtbare dimensies te belichten, uit te vergroten, zichtbaar en bespreekbaar te maken. De toegepaste kunsten, design, mode, podiumkunsten, film, en architectuur zijn noodzakelijk om nieuwe mogelijkheden vorm te geven. Deze mogelijkheden worden onderdeel van onze dynamische leefomgeving en dragen bij aan

acceptatie van veranderingen, die telkens ook begeleid moeten worden door kritische bevraging van de implicaties van deze veranderingen. Kunst haalt ons uit onze *comfortzone*. Gezien het feit dat de technologische veranderingen zo snel gaan, kunnen we stellen dat we als mens voortdurend 'uit onze *comfortzone*' zullen zijn. Een kritisch, creatief en onderzoekend perspectief vanuit de kunsten kan dan juist één van de belangrijkste leerscholen voor de 21^{ste} eeuw zijn. De kunsten hebben impact op de hightech samenleving doordat ze innovaties aanjagen met nieuwe perspectieven op toepassingen van technologieën. Daarnaast zetten ze het ontwerp en de creativiteit die centraal staat in de artistieke praktijk in voor innovaties in andere maatschappelijke domeinen. En tot slot maken ze technologie zichtbaar en bespreekbaar, waardoor ze reflectie bieden en inzicht geven in mogelijke consequenties.

Kunsten als alternatieve vorm van kennisproductie

Naast theorievorming gaat het in de wetenschap meer en meer om in praktijken en objecten belichaamde en gesitueerde vormen van weten en begrijpen. Hier raken inzichten uit de wetenschapstheorie, de cognitiewetenschappen en de cultuur- en menswetenschappen aan inzichten die in het praktijkgericht onderzoek, in het bijzonder het kunst- en ontwerponderzoek centraal staan: het methodologisch belang van wat zich concreet en materieel in maakprocessen afspeelt en het kennistheoretisch belang van wat dat oplevert. De agenda van artistiek onderzoek of ontwerponderzoek sluit aldus aan bij de vernieuwing die zich breder in de wetenschappen, met name in de geesteswetenschappen, voordoet.

Deze vernieuwende agenda heeft consequenties voor hoe wij überhaupt over onderzoek denken. We zien een verschuiving van de aandacht in de richting van andere vormen van kennisproductie; we weten immers meer dan we kunnen zeggen. En juist artefacten – beelden, ontwerpen, installaties, composities, op-

voeringen enzovoorts – kunnen het zicht van mensen op wie zij zijn en hoe zij zich verhouden tot de wereld en tot anderen verrijken en verdiepen. Juist om de maatschappelijke uitdagingen van de toekomst aan te kunnen gaan verdienen deze alternatieve vormen van kennisproductie gerichte aandacht. De kunsten en het onderzoek in de kunsten vormen daarbij het brandpunt.

De kunsten hebben impact op de aanpak van maatschappelijke uitdagingen doordat het artistieke maakproces leidt tot andersoortige kennis dan die met de traditionele wetenschappelijke aanpak wordt geproduceerd.

Kunsten als inspiratiebron voor educatie en een leven lang leren

Hoewel het belang van de kunstvakken in het onderwijs vaak wordt beleden is de aandacht voor de kunst en voor creativiteit in het Nederlandse onderwijs onvoldoende. Recente initiatieven zoals 'Meer muziek in de klas' beogen hier iets aan te doen. Het probleem zit echter dieper en raakt aan de rol van creativiteit in alle vakken en op alle niveaus in het onderwijs. Inzichten uit het sociaalpsychologisch, neurologisch en geesteswetenschappelijk creativiteitsonderzoek bereiken de onderwijskunde en de praktijk van pedagogiek en didactiek niet of nauwelijks.

Hier liggen kansen om in samenwerking met professionals, onderwijsinstellingen en wetenschappers de beperkte opvattingen over 'cognitieve vaardigheden' in het onderwijs aan te vullen en te investeren in creativiteit en in onderzoek naar creativiteit in de hele keten van een leven lang leren, vanaf het primair onderwijs tot het hoger onderwijs. Dit vraagstuk sluit aan bij de internationale ontwikkeling om de zogenaamde STEM-focus (science, technology, engineering, mathematics) te verbreden tot STEAM. Hiermee wordt het belang van de kunsten (Art) voor het onderwijs en onderzoek onderkend en de verwachting onderschreven dat de toekomstige arbeidsmarkt meer en meer creativiteit als kerncompetentie zal vragen. Het vraagstuk reikt daarmee verder dan de basisschoolse educatie. Een leven lang leren en de betekenis van creativiteit hierbinnen gaat evenzogoed de MKB-er, de ZZP-er en de lijnmanager aan. Nieuwe didactische vormen en experimenten, zoals living labs, kunnen worden ingezet in uiteenlopende contex-

ten. Nieuwe materialen en technieken zoals *Massive Online Open Courses* of sensornetwerken, reiken voorbij het domein van hun ontstaan. De experimentele praktijk van creatie en co-creatie in de kunsten biedt aanknopingspunten om dit vraagstuk van creativiteit in een leven lang leren te onderzoeken.

De kunsten hebben impact op educatie en een leven lang leren doordat ze handvatten bieden om kritisch betrokken en creatieve burgers en professionals op te leiden waarbij de didactiek van het hoger kunstonderwijs en de artistieke praktijk als voorbeelden dienen.

Onderzoeksinfrastructuur

Sinds kort zoeken universiteiten en hogere kunstopleidingen expliciet de samenwerking om onderzoek in en naar de kunsten te bevorderen door kruisbestuiving. Ze streven er onder meer naar kunstenaars meer toegang te geven tot promotietrajecten. Hoewel duidelijk is dat het domein van de kunsten in staat is gebleken voor een beperkt budget hoge kwaliteit te kunnen leveren, is het noodzakelijk dat er meer geïnvesteerd wordt in het onderzoek in deze sector. Dit is niet alleen nodig om de hierboven beschreven gamechangers te kunnen realiseren, maar ook met oog op onze internationale concurrentiepositie.

In vergelijking met de ons omringende Europese landen zijn de middelen voor onderzoek en ontwikkeling voor de kunsten in Nederland beperkt. De kunstopleidingen zijn voor het overgrote deel in het hbo te vinden. De aan deze opleidingen gekoppelde lectoraten waarbinnen het praktijkgericht onderzoek plaatsvindt, hebben een beperkte omvang. Daarnaast vindt veel van het kunst- en cultuuronderzoek plaats aan de geesteswetenschappelijke faculteiten van diverse universiteiten. Ook hier zijn de middelen schaars. Dit is het moment om de groeiende verbindingen, samenwerking en innovatie binnen de kunstensector en de gerelateerde wetenschapsgebieden te versterken. Vooral is het zaak om de innovatieve werking hiervan op samenleving en economie uit te bouwen en op te schalen. Alleen zo bereiken we het ideaal: kunsten met maximale impact.

Meer informatie over de route Kunst:

Onderzoek en Innovatie in de 21e eeuw kunt u vinden op: <https://www.routekunstnwa.nl/nl/informatie>

Groene route: natuur en biodiversiteit in een snel veranderende omgeving

Biodiversiteit is essentieel voor het welzijn, welvaart, en gezondheid van mensen en voor het voortbestaan van al het andere leven op deze planeet. Natuur levert schone lucht, gezond voedsel, voldoende schoon water en vele andere natuurlijke hulpbronnen, is belangrijk voor kwaliteit van wonen, werken en vrije tijd, en draagt bij aan gezondheid en geestelijk welzijn. Maar natuur en biodiversiteit staan ook sterk onder druk door habitatverlies en -fragmentatie, milieuvuiling vanuit verkeer, industrie en landbouw, door klimaatverandering en veranderde waterhuishouding. In toenemende mate zijn er ambities en acties om biodiversiteitsverlies om te buigen naar herstel, met wisselend succes. Om effectief te kunnen anticiperen op veranderingen in onze leefomgeving, moeten we deze trends en wisselwerkingen beter begrijpen en innovatieve oplossingen in de praktijk verkennen, inclusief de snel veranderende interacties van mensen met natuur en landschap. Deze 'groene route' richt zich op het begrijpen, benutten en beschermen van natuurgebruik, inclusief de maatschappelijke veranderingen die daarvoor nodig zijn. Het gaat daarbij om natuur in natuurgebieden, op het platteland en in de stad..

Onze huidige manier van produceren, consumeren – vooral ten aanzien van het gebruik van natuurlijke hulpbronnen en het landschap – kunnen we waarschijnlijk niet lang meer volhouden. We zijn trots op de hoge landbouwproductie van Nederland, maar deze is sterk ten koste gegaan van de kwaliteit van onze natuurlijke leefomgeving. Doorgaande verstedelijking van Nederland en groeiend aantal vervoersbewegingen hebben geleid tot steeds meer verlies en fragmentatie van natuurgebieden ten koste van hun landschapskwaliteit en biodiversiteit. Klimaatverandering gaat onveranderd door, met steeds ernstiger consequenties, bijvoorbeeld extreme droogte en hittegolven. We lopen hard aan tegen de juridische, maatschappelijke en ecologische grenzen van de manier waarop we land, bodem, water en atmosfeer gebruiken. Internationale afspraken die we als land gemaakt hebben ten aanzien van het tegengaan van biodiversiteitsverlies, klimaatverandering en aantasting van waterkwaliteit worden nog onvoldoende nagekomen en leiden steeds vaker tot juridische procedures die het land 'op slot' zetten.

Werkelijk duurzame, langetermijnoplossingen vergen een goede wetenschappelijke onderbouwing van de vele aspecten van omgaan met natuur, landschap

en biodiversiteit in hun onderlinge samenhang en afhankelijkheid. In een vaak heftig maatschappelijk debat is het belangrijk om niet-onderbouwde meningen, economische belangen en objectieve feiten, data en waarnemingen duidelijk van elkaar te scheiden. Hierbij dient discussie over herstel van natuur en biodiversiteit niet door ecologen gevoerd te worden, maar moeten alle relevante maatschappelijke partijen bij het debat betrokken zijn, zoals de betrokkenen bij de landbouw, industrie, vervoer, recreatie en waterveiligheid. Het verbinden van al deze belangen vereist dan ook een innovatieve, integrale en transdisciplinaire wetenschappelijke benadering, waarbij onderzoekers verbindingen maken met burgers, bestuurders en andere belanghebbenden, zoals maatschappelijke organisaties en bedrijfsleven.

Drie potentiële gamechangers

'Bending the curve' van biodiversiteitsverlies naar -herstel

Het duurzaam benutten van het landschap en tegelijkertijd de natuur beschermen is en blijft een uitdaging. Door de ontwikkeling van nieuwe natuur en het nationale natuurnetwerk zijn de laatste 50 jaar in Nederland belangrijke successen geboekt, denk aan de terugkeer

van grote, aansprekende soorten in het landschap zoals de aalscholver, grijze zeehond, de bever, de otter, de zeearend en de wolf. Dat leverde ook discussie op over de invloed van de effecten van dergelijke soorten buiten beschermde landschappen. Tegelijkertijd zien we een doorgaande trend van verlies van kenmerkende soorten planten en ongewervelden, vooral in meer voedselarme natuurgebieden. Er zijn grote vragen of onze huidige natuurgebieden wel voldoende op eigen benen kunnen staan. Tevens woedt er een steeds heftiger discussie welke milieumaatregelen nu werkelijk nodig zijn, bijvoorbeeld ten aanzien van beperking van stikstofemissies uit de landbouw, teneinde de algemene trend van biodiversiteitsverlies om te buigen in herstel. Dat levert veel onduidelijkheid op. Wat betekent de huidige klimaatverandering voor de manier van om-

gaan met het landschap, bijvoorbeeld ten aanzien van peilbeheer van grond- en oppervlaktewater? Hoe pas je het bestaande overheidsbeleid aan om meer ruimte te creëren voor integraliteit en maatschappelijke innovatie met voldoende beschermde natuur als onderdeel van de oplossingen? Hoe versterk je de beleidssamenhang op diverse schaalniveaus? En hoe meet je voortgang en succes?

Naar een natuurpositieve samenleving

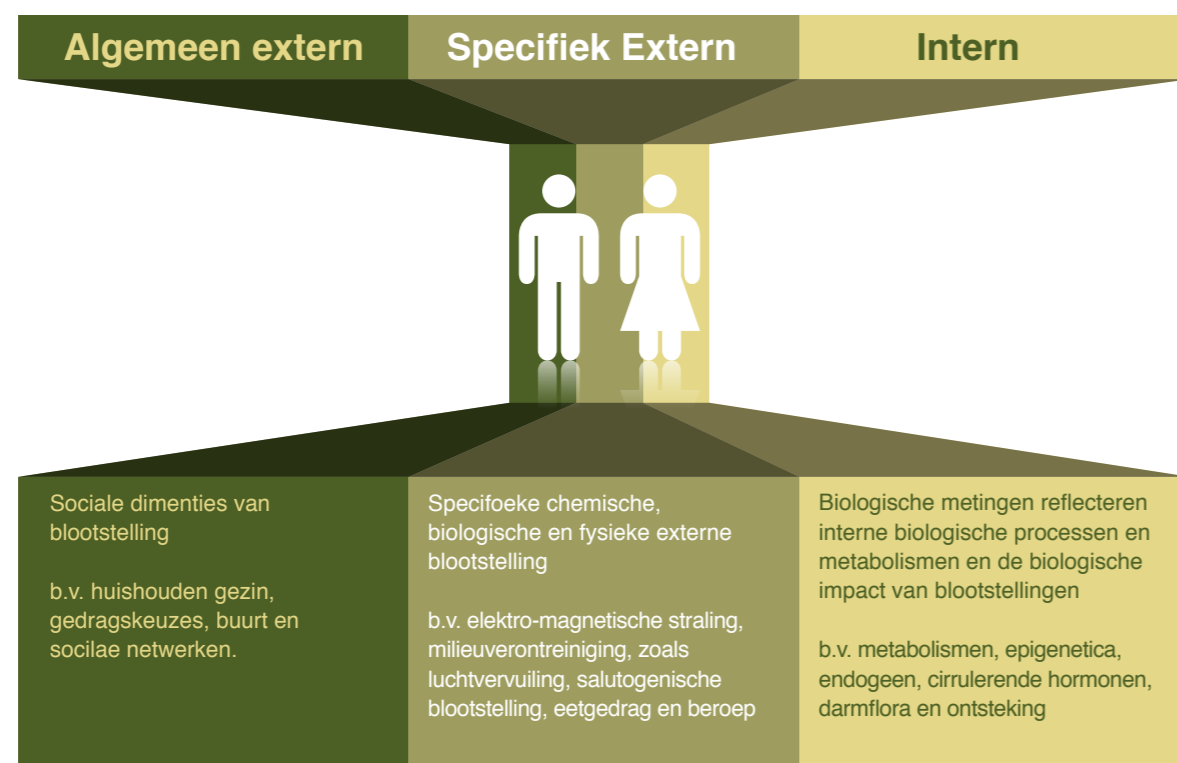
Om de kwaliteit van de omgeving te waarborgen zijn transformatieve veranderingen in de samenleving nodig. Dit vereist grote maatschappelijke veranderingen in beleid, instituties (sociale conventies, normen en regels) en gevestigde belangen. Om legitieme veranderingen te garanderen is pluraliteit in waarden en

belangen van belang. Ook het betrekken van burgers bij landschapsveranderingen is essentieel. Het gaat dan om thema's zoals 'landschap en identiteit', maar ook om vormen van *citizen science*. Het onderzoek moet zich richten op de ambitie om ingrijpende ruimtelijke transities zodanig vorm te geven dat het landschap van de toekomst een hoge kwaliteit houdt of krijgt en dat zoveel mogelijk wordt voortgebouwd op bestaande kwaliteiten. Hoe verbind je natuur en landschap met burgers en andere belanghebbenden? Als je een ombuiging wilt bewerkstelligen in het gebruik van het landschap, hoe stuur je dan bedrijven en hele sectoren naar een meer duurzame benutting van het natuurlijk kapitaal? Hoe creëer je draagvlak voor op de natuur gebaseerde oplossingen bij degenen met een grote invloed op dat landschap, zoals bij boeren? Welke vormen van sturing zijn effectief en gelegitimeerd? Soms kunnen meerdere ecosysteemdiensten uit hetzelfde gebied worden verkregen. Denk aan biodiversiteit, water- en voedselvoorziening en waterveiligheid. In andere gevallen zijn keuzes nodig om specifieke ecologische, culturele of economische kernwaarden veilig te stellen. Welke aanpak waar het

beste is, kunnen we alleen bepalen op grond van een vernieuwende onderzoeksinspanning. Hierbij is ook behoefte aan verbindingen tussen compartimenten die momenteel veelal gescheiden worden beschouwd en beheerd: land en water, bodem en ondergrond, cultuur, natuur en gezondheid. We weten nu nog te weinig over de interactie tussen ecosysteemdiensten, schaalafhankelijkheid, veerkracht, behoud en herstel van soorten en functionele biodiversiteit, gemeenschappen en ecosystemen, en koppeling van ecologische, aardwetenschappelijke, sociologische en economische benaderingen. In living labs kunnen innovatieve oplossingen voor duurzaam ruimtegebruik worden ontwikkeld. Deze living labs spelen een grote rol bij verdere dataverzameling, monitoring en integratie en kunnen hierin aansluiten bij het Landschapsobservatorium, waarin verschillende partners met elkaar samenwerken om de kwaliteit van het landschap te garanderen.

Socio-ecologische systemen als verbindend concept

Omgevingskwaliteit combineert ecologische, sociale en economische factoren en de veranderingen daarin.



Deze processen zijn nauw met elkaar verbonden, zowel als het gaat om de ruimtelijke verdeling ervan, als om de invloed van de verschillende factoren op elkaar. Hoe functioneren herstel en incassingsvermogen van deze systemen? En hoe verlopen transitie naar nieuwe systemen? Wat zijn de gevolgen van natuurlijke en sociaaleconomische veranderingen en hoe kan hierop worden geanticipeerd? Een systeembenadering met een langetermijnperspectief is nodig op basis van een beter begrip van hoe diverse processen en factoren elkaar beïnvloeden. De uitkomsten dragen bij aan het ontwerp en de ontwikkeling van een hoogwaardige leefomgeving met behoud van biodiversiteit, economische activiteiten en leefbaarheid. Dit onderzoek is interdisciplinair en trans-disciplinair en wordt uitgevoerd in living labs, gekoppeld aan de gebiedsprocessen die nu in het Nationaal Programma Landelijk Gebied zijn gestart. Naast wetenschappelijke disciplines moeten ook maatschappelijke partijen zoals overheden,

maatschappelijke organisaties, natuurbeschermingsorganisaties, brancheverenigingen en burgerinitiatieven meedenken over systeemoplossingen die aansluiten bij hun praktijk. De noodzakelijke maatschappelijke respons is nu traag, terwijl de middelen voor grootschalige verandering voor onze omgang met het landschap nu wel beschikbaar zijn. Daarom moeten we zorgen dat we deze complexe socio-ecologische systemen snel beter gaan begrijpen. Kwantitatieve modellering maakt het mogelijk om in te spelen op deze veranderingen. Daarnaast helpt modellering bij het ontwikkelen en testen van alternatieve oplossingen, preventiemogelijkheden en verbeterde regelgeving, bij het kwantificeren van de consequenties van alternatieven, en bij het tijdig nemen van maatregelen. Extra initiatieven zijn wel nodig om elkaars taal en cultuur te leren en gebruiken. Zulk grensoverschrijdend vermogen verdient verdere ontwikkeling, te beginnen in de onderwijsprogramma's van hogescholen en universiteiten.



Levend verleden

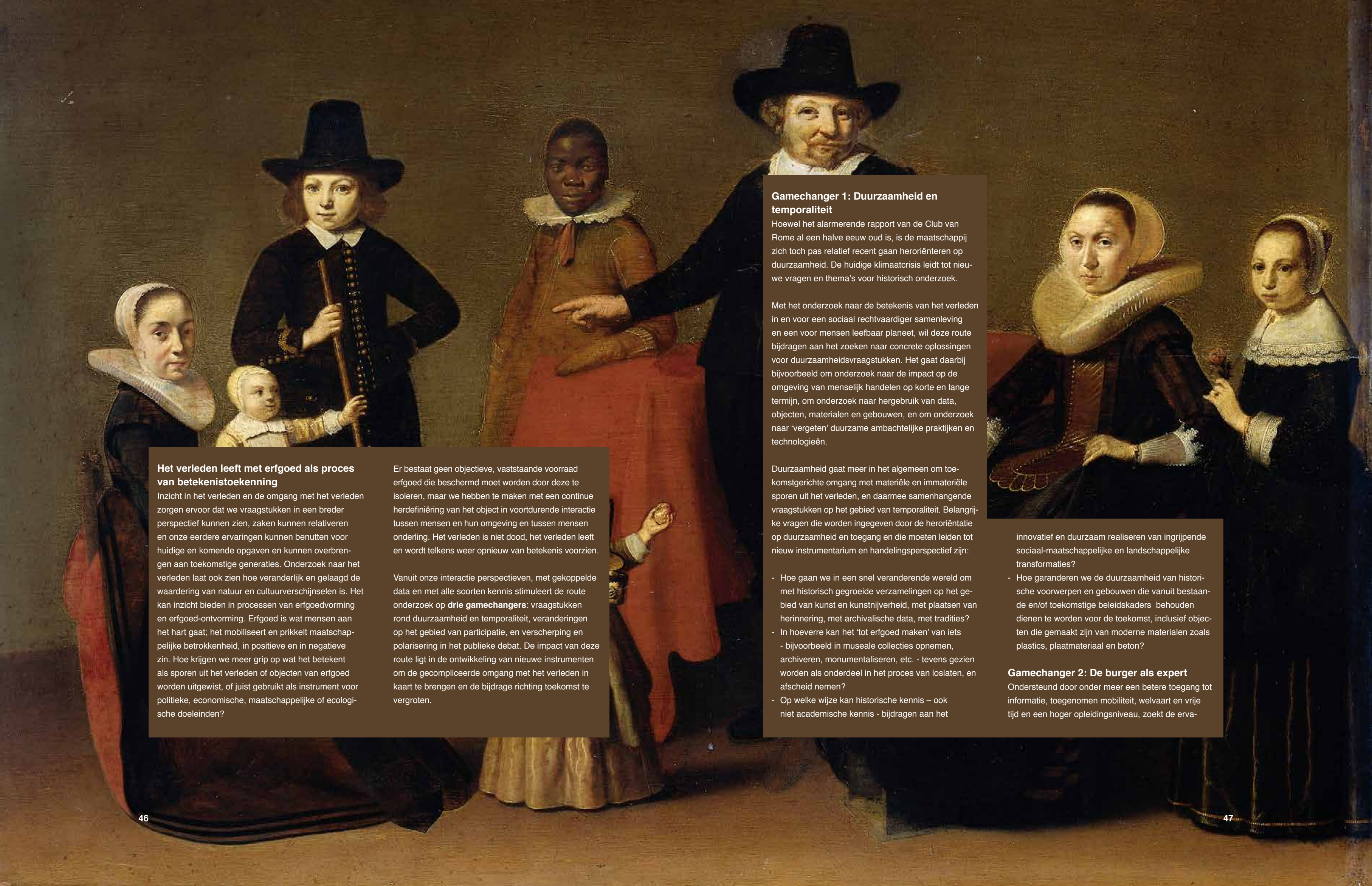
Het verleden is een bron van inspiratie en conflict. Het dient als anker voor persoonlijke en collectieve identificatie en zorgt voor gevoelens van nostalgie maar ook voor spanning. Onderzoek naar het verleden en naar de doorwerking van het verleden in het heden kan nieuwe kennis en inzichten verschaffen en inspiratie bieden voor creativiteit en samenwerking.

Levend verleden biedt perspectieven

Die kennis, inzichten en inspiratie hebben we nodig omdat we voor grote maatschappelijke en ecologische uitdagingen staan. Om de aarde op termijn leefbaar te houden zijn transitie noodzakelijk. Tegelijkertijd zorgt de snelheid waarmee de transitie (moeten) plaatsvinden en het ingrijpende karakter ervan voor toenemende spanning in de samenleving. Het benutten en ontwikkelen van historische perspectieven op - bijvoorbeeld - het gebruik van energie, de ruimtelijke inrichting, biodiversiteit, voedselveiligheid, polarisatie en conflict, populisme, de verhouding tussen burger en overheid, en zelfvoorzienendheid is van waarde in het zoeken naar oplossingen, maar ook in het omgaan met de snelle veranderingen. Dergelijke perspectieven lijken ons essentieel om het nemen van besluiten op basis van kortetermijndenken te voorkomen. Voor het stellen van een juiste diagnose bij maatschappelijke uitdagingen is een langetermijnperspectief onontbeerlijk, omdat deze het mogelijk maakt om patronen te zien en de waarden expliciet te maken waaraan we onze inzichten in onderzoek en beleid ontleen.

Levend verleden koppelt en benut data

We beschikken in Nederland over rijke langetermijn-datasets op het terrein van waterbeheer, klimaat, bevolkingsgegevens, bestuur, economie, financiën, migratie, taal en cultuur, die in de afgelopen tijd digitaal beschikbaar zijn gemaakt en aan elkaar zijn gelinkt. Dit is dus het perfecte moment om te oogsten. Juist recente ontwikkelingen op het gebied van digitaal erfgoed, kunstmatige intelligentie en big data kunnen worden benut om werelden met elkaar te verbinden. Hoe kan dit op ethisch verantwoorde, inclusieve, kritische wijze geschieden?



Het verleden leeft met erfgoed als proces van betekenisgeving

Inzicht in het verleden en de omgang met het verleden zorgen ervoor dat we vraagstukken in een breder perspectief kunnen zien, zaken kunnen relativeren en onze eerdere ervaringen kunnen benutten voor huidige en komende opgaven en kunnen overbrengen aan toekomstige generaties. Onderzoek naar het verleden laat ook zien hoe veranderlijk en gelaagd de waardering van natuur en cultuurverschijnselen is. Het kan inzicht bieden in processen van erfgoedvorming en erfgoed-ontwikkeling. Erfgoed is wat mensen aan het hart gaat; het mobiliseert en prikkelt maatschappelijke betrokkenheid, in positieve en in negatieve zin. Hoe krijgen we meer grip op wat het betekent als sporen uit het verleden of objecten van erfgoed worden uitgewist, of juist gebruikt als instrument voor politieke, economische, maatschappelijke of ecologische doeleinden?

Er bestaat geen objectieve, vaststaande voorraad erfgoed die beschermd moet worden door deze te isoleren, maar we hebben te maken met een continue herdefiniëring van het object in voortdurende interactie tussen mensen en hun omgeving en tussen mensen onderling. Het verleden is niet dood, het verleden leeft en wordt telkens weer opnieuw van betekenis voorzien.

Vanuit onze interactie perspectieven, met gekoppelde data en met alle soorten kennis stimuleert de route onderzoek op **drie gamechangers**: vraagstukken rond duurzaamheid en temporaliteit, veranderingen op het gebied van participatie, en verscherping en polarisering in het publieke debat. De impact van deze route ligt in de ontwikkeling van nieuwe instrumenten om de gecompliceerde omgang met het verleden in kaart te brengen en de bijdrage richting toekomst te vergroten.

Gamechanger 1: Duurzaamheid en temporaliteit

Hoewel het alarmerende rapport van de Club van Rome al een halve eeuw oud is, is de maatschappij zich toch pas relatief recent gaan heroriënteren op duurzaamheid. De huidige klimaatcrisis leidt tot nieuwe vragen en thema's voor historisch onderzoek.

Met het onderzoek naar de betekenis van het verleden in en voor een sociaal rechtvaardiger samenleving en een voor mensen leefbaar planeet, wil deze route bijdragen aan het zoeken naar concrete oplossingen voor duurzaamheidsvraagstukken. Het gaat daarbij bijvoorbeeld om onderzoek naar de impact op de omgeving van menselijk handelen op korte en lange termijn, om onderzoek naar hergebruik van data, objecten, materialen en gebouwen, en om onderzoek naar 'vergeten' duurzame ambachtelijke praktijken en technologieën.

Duurzaamheid gaat meer in het algemeen om toekomstgerichte omgang met materiële en immateriële sporen uit het verleden, en daarmee samenhangende vraagstukken op het gebied van temporaliteit. Belangrijke vragen die worden ingegeven door de heroriëntatie op duurzaamheid en toegang en die moeten leiden tot nieuw instrumentarium en handelingsperspectief zijn:

- Hoe gaan we in een snel veranderende wereld om met historisch gegroeide verzamelingen op het gebied van kunst en kunstnijverheid, met plaatsen van herinnering, met archivalische data, met tradities?
- In hoeverre kan het 'tot erfgoed maken' van iets
 - bijvoorbeeld in museale collecties opnemen, archiveren, monumentaliseren, etc. - tevens gezien worden als onderdeel in het proces van loslaten, en afscheid nemen?
- Op welke wijze kan historische kennis – ook niet academische kennis - bijdragen aan het

innovatief en duurzaam realiseren van ingrijpende sociaal-maatschappelijke en landschappelijke transformaties?

- Hoe garanderen we de duurzaamheid van historische voorwerpen en gebouwen die vanuit bestaande en/of toekomstige beleidskaders behouden dienen te worden voor de toekomst, inclusief objecten die gemaakt zijn van moderne materialen zoals plastics, plaatmateriaal en beton?

Gamechanger 2: De burger als expert

Ondersteund door onder meer een betere toegang tot informatie, toegenomen mobiliteit, welvaart en vrije tijd en een hoger opleidingsniveau, zoekt de erva-

ringsdeskundige, kritische en betrokken burger een grote rol in het debat over de omgang met sporen uit het verleden en de rol van het verleden in het heden. Dit geldt in het digitale domein, waar eindgebruikers en erfgoedcollecties dezelfde informatieruimte delen, en het geldt ook meer en meer op het materiële vlak. Traditioneel werd de ontwikkeling van kennis over het verleden op basis van materiële overblijfselen zoals bewaard in het Nederlandse landschap, het bodemarchief, musea, archieven en de gebouwde omgeving opgevat als privilege van academische en overheidsinstellingen. Burgerparticipatie, zoals lokale initiatieven, crowdsourcing en digitale platforms, dragen bij aan de beschikbare kennis van het verleden. Dit levert in potentie niet alleen belangrijke bijdragen aan onderzoek en dataregistratie in de archeologie, en voor musea en archieven, maar leidt ook tot toenemende betrokkenheid van burgers bij de inrichting van de ruimtelijke omgeving. De duurzame productie, toegang en opslag van gedigitaliseerd en in digitale vorm ontstaan erfgoed komen ook steeds meer in handen van burgers. Hierdoor versmelten de rollen van erfgoedconsument en -producent, van maken, beheren en gebruiken.

Belangrijke vraagstukken die worden ingegeven door *citizen science* gaan over emancipatie en democratisering:

- Ervaring geldt steeds meer als kennis. Hoe waarde- ren we deze vorm van embodied knowledge?
- Wat betekent de veranderende rol van de burger voor die van de professional?
- Hoe verenigen we verschillende kennisbronnen en zetten deze in voor het herkennen van patronen en trends, en voor de ontwikkeling van toekomstscenario's?

Hoewel uitdagend, kan de combinatie van wetenschappelijke en maatschappelijke dataverzameling, -analyse en kennis leiden tot onverwachte oplossingen als het gaat om behoud van erfgoed en toepassing ervan voor maatschappelijke uitdagingen.

Gamechanger 3: Betwist erfgoed

Maatschappelijke dynamiek zorgt voor toenemende diversiteit in visies op de omgang met het verleden en voor hoopoplopende conflicten. Hoe kunnen we in een samenleving die zich kenmerkt door emotioneel geladen processen van erfgoedvorming komen

tot maatschappelijke binding? Hoe om te gaan met de polarisering in debatten over eigenheid en identiteit, waarbij telkens emotionele claims op het verleden worden gedaan? Juist in deze context lijkt het belangrijk om te investeren in historisch besef en erfgoedwijsheid. Maar wat betekent dat in de praktijk, wat voor didactische of educatieve instrumenten zijn hiervoor voorhanden? Wat voor rol kan het verleden spelen in een samenleving waar uiteenlopende groepen allemaal hun eigen geschiedenis in stelling brengen en conflicterende erfgoedwaarden koesteren?

In een context van maatschappelijke polarisering en politisering van identiteitsvorming vragen onderzoeksprogramma's niet alleen aandacht voor meerstemmigheid en meerdere perspectieven, maar ook om een meer activistische houding, onder andere in een streven naar dekolonialiteit. Die roep om engagement heeft consequenties voor de omgang met het verleden. Dit raakt ook het academische onderzoek, dat immers niet in isolement plaatsvindt. Hier doen zich nieuwe uitdagingen voor, waar deze route zich rekenschap van wil geven door nieuwe instrumenten te ontwikkelen die ons in staat stellen om te gaan met die uiteenlopende veranderende werkelijkheden.

Verbinding

Deze route plaatst historisch onderzoek in het teken van inter- of transdisciplinaire samenwerking, en samenwerking met een brede en diverse waaier aan niet-discipline gebonden partijen. Hierbij wordt dit type onderzoek continu gevormd en gevoed door maatschappelijke bewegingen en engagement met (sporen van) het verleden, waardoor het plaatsvindt in een volledige kennisketen.

Hoewel het erfgoedonderzoek nu al in hoge mate interdisciplinair plaatsvindt, zouden onderzoeksprojecten in andere domeinen gebaat zijn bij de nu nog vaak ontbrekende historische dimensie. Het is daarom zaak om een meer holistische, transdisciplinaire dimensie bij dat onderzoek te agenderen. Ook vragen de genoemde gamechangers om een meer vraaggestuurde vorm van onderzoek, in co-creatie met overheden en burgers, door de maatschappelijke sectoren nóg meer te verbinden dan nu het geval is. Juist in die verbinding zit in de toekomst de winst voor de kennisvermeerdering en de maatschappij.

Logistiek en transport in een energieke, innovatieve en duurzame samenleving

Een transitie realiseren naar een betrouwbaar, efficiënt, veilig en duurzaam mobiliteits-, transport- en logistiek systeem binnen en buiten Nederland. Dat is de ambitie van deze route. Het verbeteren van het transport van goederen en personen bevordert welvaart in brede zin: niet alleen wat betreft het creëren van toegevoegde waarde en concurrentiekracht in de Nederlandse logistieke sector, maar ook de maatschappelijke welvaart die samenhangt met personenmobiliteit.

Een betrouwbaar, efficiënt, veilig en duurzaam transportsysteem is een bepalende voorwaarde voor het goed functioneren van moderne samenlevingen. Zonder handel en specialisatie zouden we nooit ons huidige welvaartsniveau hebben kunnen bereiken, en veel handel vereist nu eenmaal de fysieke verplaatsing van goederen. Mobiliteit van personen is minstens zo belangrijk. Deze stelt ons in staat om activiteiten als wonen, werken en recreëren op verschillende locaties uit te voeren. Het transportsysteem van mensen en goederen is echter complex en dient continu te worden aangepast aan de vraag. Daarbij worden in toenemende mate hoge kwaliteitseisen gesteld.

Voortschrijdende wereldwijde urbanisatie en ruimtelijke specialisatie als gevolg van globalisering doen de vraag naar transport in en rond steden toenemen; een trend waarover nog onvoldoende bekend is. Het bestellen van goederen door de consument thuis via het internet, maar ook demografische en ruimtelijke ontwikkelingen, beïnvloeden de vraag naar mobiliteit, transport en logistieke dienstverlening verder. Gemiddeld verplaatsen mensen zich ongeveer een uur per dag, maar de soort verplaatsing en de ruimtelijke spreiding daarvan zijn aan sterke veranderingen onderhevig.

Duurzaam vervoer en ruimtegebruik

De maatschappij als geheel stelt eisen aan duurzaamheid. Denk niet alleen aan het sterk terugdringen van het gebruik van fossiele brandstoffen en de daarmee gerelateerde CO₂-uitstoot, maar ook aan de verbetering van de lokale kwaliteit van lucht en water.

Verder wordt de ruimte voor transportinfrastructuur in toenemende mate schaars en daarmee ook duur. Het is niet voor niets dat regelmatig wordt gesproken over dubbeldekse of ondergrondse verkeers- en vervoerssystemen in met name onze stedelijke gebieden, maar ook ter bescherming van schaarse en kostbare natuurgebieden.

Technologische ontwikkelingen volgen elkaar in hoog tempo op. Optimisten verwachten veel van elektrisch rijden en automatisch geleid rijden. De *big-data*-revolutie biedt ongekennde mogelijkheden voor een veel efficiëntere *real-time* bijsturing en informatievoorziening in transport en logistieke netwerken, onder meer door *real-time* fysieke stromen en datastromen met elkaar te verbinden. Nederland is zeker niet het enige land waar dit soort uitdagingen spelen. Maar we hebben wel een ideale uitgangspositie om te kunnen dienen als living lab voor het bestuderen van de onderliggende vraagstukken en het ontwerpen, testen en implementeren van innovatieve oplossingen: Nederland is dichtbevolkt, heeft een optimale ligging ten opzichte van internationale verbindingen, een traditioneel internationaal sterke en innovatieve handel- en transportsector, een brede en sterke kennisbasis en drie soorten mainports (lucht, water, wegen en data). Daarmee is Nederland bij uitstek een land waar rond de thema's transport, logistiek en mobiliteit urgente, grote en veelomvattende vraagstukken spelen. Transport en logistiek vormen in Nederland een belangrijke economische sector, die een toegevoegde waarde van 55 miljard euro per jaar vertegenwoordigt, en goed is voor 813.000 arbeidsplaatsen.

Nederland vervoert 3,7 procent van de wereldhandel. En dat terwijl we slechts 0,25 procent van de wereldbevolking vertegenwoordigen, en de Nederlandse maakindustrie slechts 1 procent van de wereldproductie voor zijn rekening neemt.

Complex krachtenveld

Het krachtenveld waarbinnen uitkomsten in transport en logistieke systemen tot stand komen is vanuit meerdere gezichtspunten gezien complex. Een eerste complexiteit bestaat uit de samenhang en wederzijdse beïnvloeding tussen vervoersgedrag en ruimtelijk gedrag, zoals de keuze van locaties voor activiteiten als wonen, werken, winkelen en recreëren voor huishoudens, de keuze voor productie-, opslag- en assemblageactiviteiten voor bedrijven.

Een tweede complexiteit betreft het belang van dynamiek en onzekerheid voor het begrijpen van verkeers- en vervoerssystemen. Op de korte termijn gaat het daarbij bijvoorbeeld om de dynamiek van congestie en onzekerheid en onbetrouwbaarheid van netwerken. Op de lange termijn gaat het om onzekerheid over toekomstige technologische ontwikkelingen en het fundamentele dilemma hoe daar mee om te gaan.

Een derde vorm van complexiteit komt voort uit het belang van interacties tussen actoren voor het functioneren van verkeers- en vervoerssystemen. Dit is relevant voor verkeerscongestie, voor veiligheidsrisico's en ongevallen, voor afstemming binnen logistieke ketens, voor het optimaliseren van infrastructuurbeheer in relatie tot het gebruik daarvan, enzovoorts.

Bovenop deze complexiteiten komt het gegeven dat er een veelheid aan relevante invalshoeken is van waaruit we verkeers- en logistieke systemen moeten beschouwen om de uitkomsten goed te kunnen begrijpen. Diezelfde invalshoeken hebben we nodig om overwogen aanbevelingen te kunnen doen over strategieën om tot optimalisatie van het systeem te komen, hetzij vanuit individueel, bedrijfseconomisch of vanuit maatschappelijk perspectief.

Verbindingen tussen de verschillende invalshoeken vormen vaak de aanknopingspunten voor de invulling van urgent en innovatief wetenschappelijk onderzoek

in dit veld. Om één voorbeeld van het belang van verbindingen te noemen: als je technologische mogelijkheden om verkeer en vervoer schoner te maken bestudeert zonder te kijken naar menselijk gedrag en daarmee de omarming van dergelijke technologieën, kan je de effecten van nieuwe diensten en beleidsmaatregelen niet goed en nauwkeurig voorspellen.

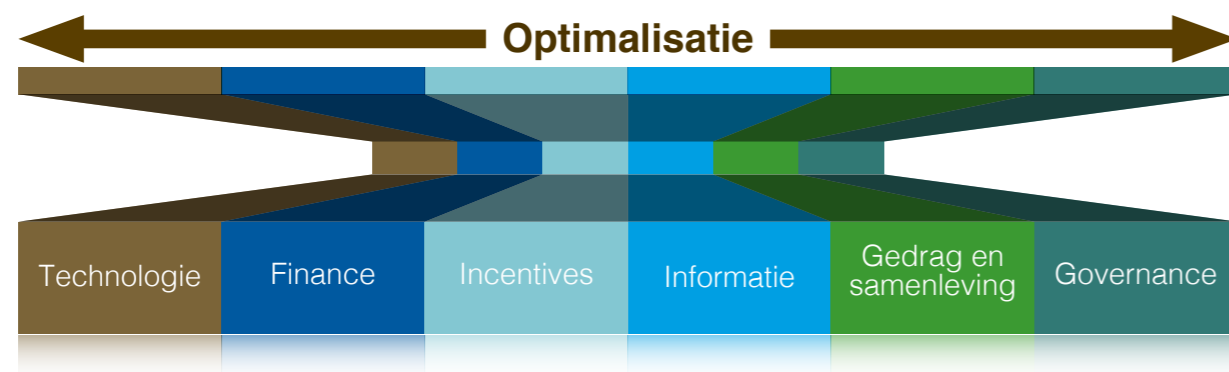
Een interdisciplinaire benadering is noodzakelijk voor een goed begrip van systemen voor logistiek en mobiliteit. Het gaat om gedrag van bedrijven en individuen, en daarmee om gedragswetenschappen als psychologie en economie. Het gaat om toegepast technologisch en praktijkgericht onderzoek. Het gaat om optimalisatie van complexe dynamische processen en daarmee om *operations research* en wiskundige benaderingen. Het gaat als vanzelfsprekend om disciplines als verkeerskunde, ruimtelijke wetenschappen en logistiek. Het belang van incentives en finance vraagt om bijdragen vanuit bedrijfswetenschappen en economie. Juist vanwege de onderlinge samenhang, gaat het niet in de laatste plaats om interdisciplinaire samenwerking tussen deze verschillende wetenschapsdisciplines.

Minder verstoringen in en hinder van het transportsysteem

De geschetste ontwikkelingen geven aan dat een transitie naar een betrouwbaar, efficiënt, veilig en duurzaam transportsysteem van het grootste maatschappelijke belang is, en tegelijkertijd uitdagende vragen opwerpt voor hoogwaardig interdisciplinair wetenschappelijk onderzoek.

Een aantal technische revoluties, waaronder connectiviteit en big data, zullen een enorme invloed hebben op het transportsysteem van de toekomst. Denk aan:

- de wijze van transport: *connected*, coöperatief en automatisch rijden,
- de sturing van transport: *real-time* dynamisch verkeersmanagement en routing,
- de beïnvloeding van mobiliteit: *real-time* verkeersinformatie en slimme incentives,
- het slim besturen van logistieke ketens en netwerken,
- het op basis van data monitoren van en toezicht op internationale handel en transport.



Planning, sturing en beïnvloeding kunnen zowel voor weg, water, spoor als lucht en netwerkbreed worden uitgevoerd op een wijze die tot voor kort ondenkbaar was. Dit geldt voor overheden en voor bedrijven die actief zijn in deze netwerken. Op stedelijk niveau zullen nieuwe informatiesystemen leiden tot een sterke verwechting van transport van goederen en personen. De automatisch geleide auto die iemand 's ochtends van buiten de stad oproept, kan bijvoorbeeld op zijn tocht naar het centrum meteen even een pakje vanaf een stadsdistributiecentrum aan de rand van de stad meenemen voor de buurman.

Deze en gerelateerde technologische veranderingen gaan nog ongekende effecten hebben op ons gedrag en op manieren van samenwerking. Verder ontstaan volstrekt nieuwe businessmodellen voor dienstverleners en nieuwe aantrekkelijke diensten die nieuwe bedrijvigheid zullen opleveren.

Samenwerking

Gezien de breedte en reikwijdte van dit thema, zal een brede basis van kennisinstellingen, universiteiten en hogescholen alsmede een groot aantal disciplines nodig zijn om de ambitie van deze route te verwezenlijken. Deze disciplines zijn in Nederland goed vertegenwoordigd, maar

zijn nog onvoldoende in samenhang ontwikkeld. Ook de wijze van samenwerking in een breed *living lab* is nog niet genoeg geëxploreerd. Nieuwe verbindingen en mechanismen zijn nodig, waarbij rijksbeleid en bedrijfsstrategieën worden gebaseerd op publiek-private samenwerkingen tussen overheid, bedrijfsleven en wetenschap. Maatschappelijke samenwerking tussen en met steden en regio's is hierbij essentieel, net als samenwerking op het terrein van kennis- en businessontwikkeling tussen de verschillende modaliteiten lucht, water, spoor en weg.

De genoemde verbindingen kunnen het best worden gerealiseerd doordat ze op systeemniveau worden beproefd en cyclisch verbeterd in *living labs*. Knooppunten van samenwerking en locaties van nationale *living labs* zullen de mainports zijn, waarbinnen water, weg, spoor, en lucht gaan samenkomen met smart data. Voorbeelden hiervan zijn de haven van Rotterdam en de Schiphol-Zuidas-ArenA corridor. Daarnaast is een nationaal datalab nodig dat deze *living labs* moet ondersteunen. De grote kenniscentra op gebied van transport en logistiek kunnen in deze *living labs* en in het datalab zowel vraagstukken rond internationale *supply chains* als uitdagingen rond stedelijke logistiek en mobiliteit in onderlinge samenhang bestuderen, en innovaties tot stand brengen.

Materialen – Made in Holland

We staan aan de vooravond van een revolutionaire ontwikkeling: we krijgen het gereedschap in handen om nieuwe materialen op maat te maken. Met uiterst krachtige microscopen kunnen we individuele atomen zien, manipuleren én controleren. We kunnen de eigenschappen van zelfbedachte materialen in de computer berekenen, zodat we ultieme functionele materialen kunnen ontwerpen. Dit alles opent het tijdperk van materialen op maat: materialen die we kunnen programmeren om exact de gewenste eigenschappen te hebben.

De kunst om materialen naar onze hand te zetten, heeft onze maatschappij gevormd. Materialen vormen de ingrediënten van gebouwen, transportmiddelen, apparaten, kleding en zelfs voedsel; ze produceren onze energie, doen onze berekeningen en laten ons met elkaar communiceren.

Materialen zijn opgebouwd uit atomen en moleculen. De manier waarop die bouwstenen zijn opgestapeld en met elkaar verbonden, bepaalt de eigenschappen van de materialen. Materiaalkundigen hebben de afgelopen decennia de relatie tussen de structuur van materialen en hun eigenschappen ontrafeld; tegelijkertijd zijn technieken ontwikkeld om atomen en moleculen te kunnen zien en manipuleren. Daardoor staan we nu aan de vooravond van een doorbraak, namelijk de ultieme controle over bouwstenen waarmee we compleet nieuwe materialen op maat gaan maken.

Een zestal gamechangers

3D-printen, designer materialen en composieten. Vrijwel alle materialen zijn samengesteld uit meerdere componenten: de gecombineerde eigenschappen van twee of meer materialen zijn vaak beter dan die van één. De ontwikkeling van deze zogeheten composieten is nu nog vaak gebaseerd op *trial and error*, waardoor de eigenschappen ver onder het theoretisch optimum blijven. We zullen de komende decennia steeds verder de technieken en concepten ontwikkelen om composieten op de tekentafel te ontwerpen en vervolgens te bouwen. Dit maakt designer materialen mogelijk die op tal van terreinen revolutionaire nieuwe eigenschappen hebben. 3D-printen is een nieuwe techniek die de weg opent naar nieuwe hybride

materialen met gecontroleerde structuur en superieure eigenschappen. 3D-printen maakt metamaterialen mogelijk, waarvan de eigenschappen worden bepaald door de geometrie van de samenstellende materialen. 3D-printen maakt op maat gemaakte botimplantaten mogelijk, of constructiematerialen die extreem licht zijn maar toch sterk, en biedt de maakindustrie volledig nieuwe productiemogelijkheden. Het printen van zachte materialen kent ongekende mogelijkheden: kunnen we voedsel, textiel, medicijnen, weefsels, en misschien zelfs organen printen?

Deze technieken staan nu nog in de kinderschoenen. Grote uitdagingen liggen in het beheersen van de fysisch-chemische eigenschappen van het printproces, het printen van composieten met contrasterende eigenschappen en het significant verhogen van de resolutie en snelheid van het printproces. Parallel daaraan moeten we computersimulaties, modellen en meetmethoden ontwikkelen om 3D-geprinte composieten en metamaterialen rationeel te kunnen ontwerpen.

Biomaterialen en zelfassemblage: inspiratie uit de natuur

Moleculen assembleren zichzelf spontaan tot cellen, cellen vormen weefsels, weefsels vormen organen, organen vormen organismen. Wat zijn precies de wetten, de processen en de mogelijkheden van deze zelfassemblage? Met moleculaire zelfassemblage kunnen we op bestelling slimme materialen maken, efficiënter met grondstoffen omgaan, en nieuwe materialen realiseren die energie omzetten in beweging, gecontroleerd medicijnen afgeven, of reageren op externe signalen.

In de natuur gaan levende systemen verrassend lang mee; niet omdat ze schadebestendig zijn, maar omdat ze in staat zijn zichzelf te regenereren en repareren. Nederland heeft een vooraanstaande rol verworven op het gebied van zelfherstellende materialen, zoals beton dat zichzelf herstelt met behulp van bacteriën. Kunnen we deze concepten uitbreiden naar andere materialen, zoals keramiek en metaal, en zelfherstellende turbinemotoren, windmolens, coatings of snelwegen maken? Kunnen we zelfherstellende biomaterialen ontwikkelen om weefsels en organen in het menselijk lichaam versneld te repareren?

Materialen voor duurzame energie

Het grootschalig gebruik van zonnepanelen biedt een duurzame oplossing voor het energieprobleem van onze maatschappij. Om dat te bereiken is het noodzakelijk dat het rendement van zonnepanelen verbetert en de kosten verlagen. Daarvoor zijn volledig nieuwe materialen en ontwerpen nodig die het licht invangen en omzetten in elektriciteit. Goede kandidaten zijn recent ontdekte perovskieten, hybride organische en anorganische materialen, tweedimensionale materialen, nieuwe transparante geleiders of materialen waarvan we het bestaan nog niet eens kennen. Hoe kunnen we het licht in de zonnecel slimmer managen of zelfs van kleur laten veranderen om het rendement te verhogen en de kostprijs te verlagen? Kunnen we nieuwe flexibele materialen ontwikkelen om zonnepanelen onzichtbaar te integreren in bouwmaterialen? Naast efficiënte opwekking van zonne-energie is energieopslag essentieel. Het is een grote uitdaging om nieuwe katalysatormaterialen te ontwikkelen, gemaakt uit metalen die niet schaars zijn. Zo kan met behulp van zonnestroom waterstof worden opgewekt uit water, of methanol uit koolstofdioxide en water. Daarnaast is het van groot belang om nieuwe batterijmaterialen te ontwikkelen met een hogere capaciteit, kortere oplaadtijd en langere levensduur, die zijn ge-

maakt uit goedkope, duurzame, niet-schaarse materialen. Deze ontwikkeling is essentieel voor de doorbraak van elektrische auto's en de daarmee samenhangende revolutie in onze vervoerstechnologie. In de energietransitie spelen nieuwe materialen voor opslag van warmte ook een belangrijke rol, net als materialen voor transport van energie over lange afstanden.

Hightechsystemen en slimme materialen

De computer- en communicatietechnologie heeft de afgelopen decennia een stormachtige ontwikkeling doorgemaakt, gebaseerd op voortschrijdende miniaturisering. Maar de kleinst haalbare schaal komt in beeld en het energieverbruik beperkt de capaciteit van computers. Zonder nieuwe doorbraken in de ICT kunnen we toekomstdromen zoals het *Internet of Things* en de analyse van big data niet realiseren. Nieuwe materialen en concepten zijn daarom essentieel. Een revolutionair nieuwe aanpak is gebaseerd op de werking van onze hersenen, die met gebruik van totaal andere componenten een miljoen keer effectiever met energie omgaan dan conventionele elektronica. We willen herconfigureerbare, neuro-morfe materialen ontwikkelen met controleerbare en dynamisch aanpasbare elektrische of magnetische eigenschappen, die neuronen en synapsen nabootsen. Met moleculaire en cellulaire computing ontwikkelen we logische schakelingen op basis van biomoleculen. Parallel hieraan biedt integratie van nano-electronica, nano-optica en nanospintronica een unieke kans om energiezuinige dataverwerking te realiseren. Al deze technieken openen de weg naar het inzetten van quantummechanica om informatieverwerking ultiem efficiënt te maken.

Nieuwe ontwikkelingen op het gebied van extreme energie-efficiëntie maken het mogelijk apparaten hun eigen energie te laten oogsten uit hun omgeving: telefoons die worden opgeladen door lichaamswarmte of -beweging,

medische implantaten die energie krijgen uit dezelfde biochemische bron als cellen, straatverlichting die gevoed wordt door trillingsenergie van het verkeer. Zo ontstaat een netwerk van energie-oogstende apparaten die tevens met elkaar kunnen communiceren.

Smart coatings, smart skins

Bijna alle industrieel vervaardigde voorwerpen bevatten functionele coatings: deze voorkomen corrosie van metalen, beschermen lichaamsimplantaten tegen afweerreacties, controleren het oplossen van medicijnen in het lichaam, verminderen wrijving en maken oppervlakken zelfreinigend. Het wordt mogelijk om responsieve coatings te ontwikkelen waarvan de eigenschappen zich aanpassen aan hun omgeving: smart skins die reageren op licht of warmte en daarmee een gebouw energieneutraal kunnen maken. Coatings kunnen de efficiëntie van katalyse sterk verbeteren. In de voedingstechnologie verbeteren ze de smaak en houdbaarheid van voeding. De allerdunste coating bestaat uit slechts één enkele atoomlaag. Grafeen of de recent ontdekte chalcogenidelagen kunnen een revolutie veroorzaken in computerchips en zonnecellen. Supersterke textielvezels vormen in de toekomst draagbare computers die reageren op prikkels uit de omgeving of geïntegreerd zijn met sensoren die lichaamsfuncties monitoren. Compleet nieuwe ontwikkelde hightech-textielsoorten zullen steeds meer toegepast worden in de landbouw en civiele techniek.

Duurzame materialenkringlopen

De voorraad van grondstoffen waarmee we materialen maken, is eindig. Dit einde komt nabij door de soms achteloze manier waarop we gebruikte materialen afdanken. Op dit moment zijn slechts voor enkele materialen, zoals staal, de materialenkringlopen nagenoeg gesloten. De uitdaging voor de toekomst is om materialen te fabriceren uit duurzame bronnen, om

nieuwe kringlopen van gebruik, afbraak, en hergebruik te realiseren, en om zeldzame materialen te vervangen door minder schaarse alternatieven. Alleen zo kunnen we de toekomstige vraag naar water, voedsel en energie blijvend beantwoorden en Nederland zelfredzaam maken op het gebied van grondstoffen. Dit vereist een manier van ontwerpen waarbij we duurzaam gebruik tijdens de hele levenscyclus en slim hergebruik van materialen of bestanddelen ervan integraal meenemen. De transitie naar een palet van herbruikbare materialen vraagt een brede aanpak: niet alleen moeten we materialen duurzaam produceren, ook moeten we verantwoorde productie, verwerkings- en hergebruikprocessen ontwerpen.

Materialen verbinden

Materiaalonderzoek omvat natuurkunde, scheikunde, biologie, techniek en informatica en strekt zich uit tot disciplines zoals geneeskunde, bouwkunde, en industrieel ontwerpen. Dit vakgebied is direct verweven met onze energievoorziening, medische zorg, voedseltechnologie, gebouw- en landschaps-infrastructuur, economie, gedrags- en maatschappijwetenschappen, milieu, et cetera. Sommige materiaaltoepassingen leiden tot vragen op het gebied van veiligheid, risicoanalyse, geopolitiek, (medische) ethiek en certificering, en raken disciplines zoals de geesteswetenschappen, sociale wetenschappen, en bestuurswetenschappen.

Dromen voor 2040 verwezenlijken

Het is 2040, je rijdt door de stad in je elektrische auto; draadloos opgeladen met energie die volledig door de zon is opgewekt. De stad heeft een enorme transitie doorgemaakt; gebouwen en infrastructuur zijn van volledig hergebruikte materialen gemaakt die zichzelf repareren. Op je werk gebruik je neuromorfe computers; slimmer dan onze hersenen en veel energiezuiniger dan ouderwetse computers. Je draagt kleding met sensoren die je lichaamsfuncties in de gaten houden, zoals de conditie van je nieuwe hartklep die met een 3D-printer op maat is gemaakt. Nieuwe materialen gaan deze dromen, en nog veel meer, mogelijk maken.

Een krachtige, langjarige financieringsimpuls in het funderend materiaalonderzoek is essentieel voor het initiëren van excellent en vernieuwend onderzoek, het versterken van onderzoeksfaciliteiten, het opleiden van de materiaalkundigen van de toekomst en het creëren van innovaties in nauwe samenwerking met technologische instituten en industriële partners. Materiaalonderzoek verbindt onderzoekers van universiteiten, instituten, hogescholen, bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties. Het verwezenlijkt in 2040 de dromen van nu en creëert een nieuwe schat aan bijzondere ideeën en concepten waar we nu nog niet van durven dromen.

Metten en detecteren: alles, altijd en overal

Emissie en depositie van reactief stikstof, PFAS, microplastics, CO₂-emissies, methaanemissies, fijnstof, de materialencrisis, zoönoses. Voor elk van deze voorbeelden spelen meet- en detectietechnologie een cruciale rol; zowel voor het inschatten van de magnitude van het probleem als voor de ontwikkeling van oplossingen ervoor. Onze behoefte aan detailinformatie groeit hierdoor enorm en stelt stevige eisen aan de benodigde instrumentatie, aan de interpretatie van meetgegevens en aan communicatie, perceptie, en eigendom van meetresultaten. Metingen aan complexe systemen en de integratie van verschillende meetgegevens worden steeds belangrijker. Daarnaast willen we veranderingen in meetgegevens beter en sneller kunnen identificeren, om daarmee de overgang van curatief of reactief handelen naar preventief of proactief handelen mogelijk te maken.

Metten en detecteren zijn van essentieel belang voor de transitie naar een duurzame en gezonde samenleving. Metten en detecteren leveren de daarvoor benodigde gegevens voor systeembegrip en innovatie. Analytische wetenschap en technologie vormen de zintuigen van wetenschapper, innovator, beleidsmaker, -uitvoerder, bedrijf en burger. Daardoor is er een continue vraag naar nieuwe, verbeterde en meer gedetailleerde metingen. Dit vereist voortdurend innovatie van meet- en detectietechnologie. Doordat metingen ook in toenemende mate deel uitmaken van het dagelijks leven, onder andere als gevolg van *citizen science*, *Internet of Things* en *personalized medicine*, wordt het steeds belangrijker om de betekenis en de waarde van meetresultaten in te zien. Mensen die met meetresultaten geconfronteerd worden of deze bekijken, moeten de meetresultaten en veranderingen daarin kunnen interpreteren en in een kader kunnen plaatsen. Ook moeten zij zich bewust zijn van de waarde van hun gegevens voor anderen. Met het oog op privacy zal de maatschappij als geheel een gedragscode of zelfs wetgeving ten aanzien van eigendom en gebruik van meetgegevens en informatie moeten opstellen of aanpassen. Deze route verbindt daarom de funderende en toepassingsgerichte bètawetenschapsgebieden met alfadisciplines zoals educatie, psychologie, ethiek, gedrag en recht.

Vier gamechangers laten zich onderscheiden:

1. Van puntmeting naar systeembegrip

Droombeeld: Een instrument dat de volledige elementaire en moleculaire samenstelling en dynamiek van

een levend systeem, proces of materiaal plus de daarin aanwezige chemische, fysische en biologische interacties met submicrometerdetail en op microsecondentijdschalen kan bepalen op niet-destructieve wijze.

We kunnen al veel meten, ofwel met geavanceerde apparatuur in het lab ofwel in het veld met behulp van sensoren. Voor de hand liggende vragen als 'Hoeveel microplastics zitten er in mijn pizza en wat betekent dat voor mijn gezondheid?', 'Schaadt het fijnstof in de omgevingslucht waarin ik mij nu bevind mijn gezondheid?', 'Hoe groot is hier de depositie van reactief stikstof en waar komt die vandaan?' of 'Wat is dit voor een plastic en hoe kan ik die optimaal recycleren?' kunnen we echter nog steeds niet beantwoorden, zelfs niet als we de precieze samenstelling van het voedsel of de lucht zouden weten. Dat komt doordat we de complexe werkelijkheid niet op systeemniveau begrijpen. Dit begrip kunnen we verkrijgen door de materiële werkelijkheid en haar dynamiek vanuit verschillende invalshoeken te bekijken, en een studie te maken van hoe het geheel van de verschillende componenten zich gedraagt. Dit vraagt om complementaire en vaak ongelijksoortige metingen vanuit verschillende invalshoeken, met verschillende mate van fysisch, chemisch of biologisch detail, op verschillende lengte- en tijdschalen. Deze metingen moeten dan nog zo worden uitgevoerd dat ze zelf het systeem niet beïnvloeden. Om ons systeembegrip te kunnen verhogen, is een aantal oplossingen mogelijk. Op de eerste plaats moeten we de mate van detail van de metingen vergroten. Daarnaast moeten we nieuwe non-invasieve en non-destructieve meetmethoden

ontwikkelen. Voorts is ontwikkeling, inzet en combinatie van complementaire meettechnieken nodig, die verschillende aspecten van de materie en dynamiek daarin belichten. Tot slot moeten we generieke methoden ontwikkelen om ongelijksoortige meetgegevens, informatie en kennis van complexe systemen en systeemelementen met elkaar te combineren.

2. Meten waar en wanneer het nodig is

Droombeeld: In de toekomst hebben we onder andere een sensor voor persoonlijke voeding; een fabriek die haar productieparameters continu aanpast op basis van de actuele samenstelling van de grondstoffen; een systeem dat plastic- of metaalrecyclestromen meet en aangeeft met welk verwerkingsproces gekozen moet worden voor optimaal waardebehoud; een camera voor de directe specifieke detectie van schadelijke virussen en sensoren die continu en lokaal meten welke stoffen in op welke niveaus in lucht en water zitten.

Door in een vroeg stadium afwijkingen van een normale situatie te detecteren, kan ook zonder volledig begrip van het systeem preventief opgetreden worden. Dit vereist evenwel dat er voldoende meetgegevens beschikbaar zijn, en dat bekend is wat een significante of zorgwekkende afwijking is. In het geval van individuen geldt dat wat voor de ene persoon een indicatie voor een goede gezondheid is, voor de ander kan duiden op een zorgwekkende situatie. Om tijd te besparen en snel ingrijpen mogelijk te maken, moeten we de metingen, de verwerking ervan en in veel gevallen de terug- of doorkoppeling van de resultaten op dezelfde plek doen. Eigenlijk moet het lab dus naar of zelfs in het te meten object of individu gebracht worden. Miniaturisering van hightechinstrumentatie is daarvoor cruciaal. Omdat de metingen in toenemende mate door ongetrainde gebruikers gedaan zullen worden (Measurement for the Millions, *Citizen Science*), worden extra eisen aan de robuustheid en aan de doelmatigheid gesteld. Validatie en standaardisatie zijn daarbij cruciaal. Voor de gebruiker is belangrijk dat er een betrouwbaar en zoveel mogelijk eenduidig resultaat gepresenteerd wordt. De vragen 'Wat moeten we meten, hoe, waar en hoe vaak moeten we het meten, aan wie moeten we de data terugkoppelen en kunnen we metingen combineren' vereisen een verbinding tussen wetenschappers in de applicatiegebieden, analytische wetenschap, standaardisatie, design en systeemintegratie.

3. Het begrijpen van de relatie tussen structuur, samenstelling en functie

Droombeelden: Een expertsysteem dat op basis van moleculaire structuurinformatie de mogelijke gedaantes van een stof onder verschillende omstandigheden kan voorspellen; een expertsysteem dat aangeeft hoe zeer zorgwekkende stoffen in producten vervangen kunnen worden door veilige alternatieven; en een interdisciplinair wetenschappelijk platform voor structuur-eigenschaps-structuur-prestatierelaties.

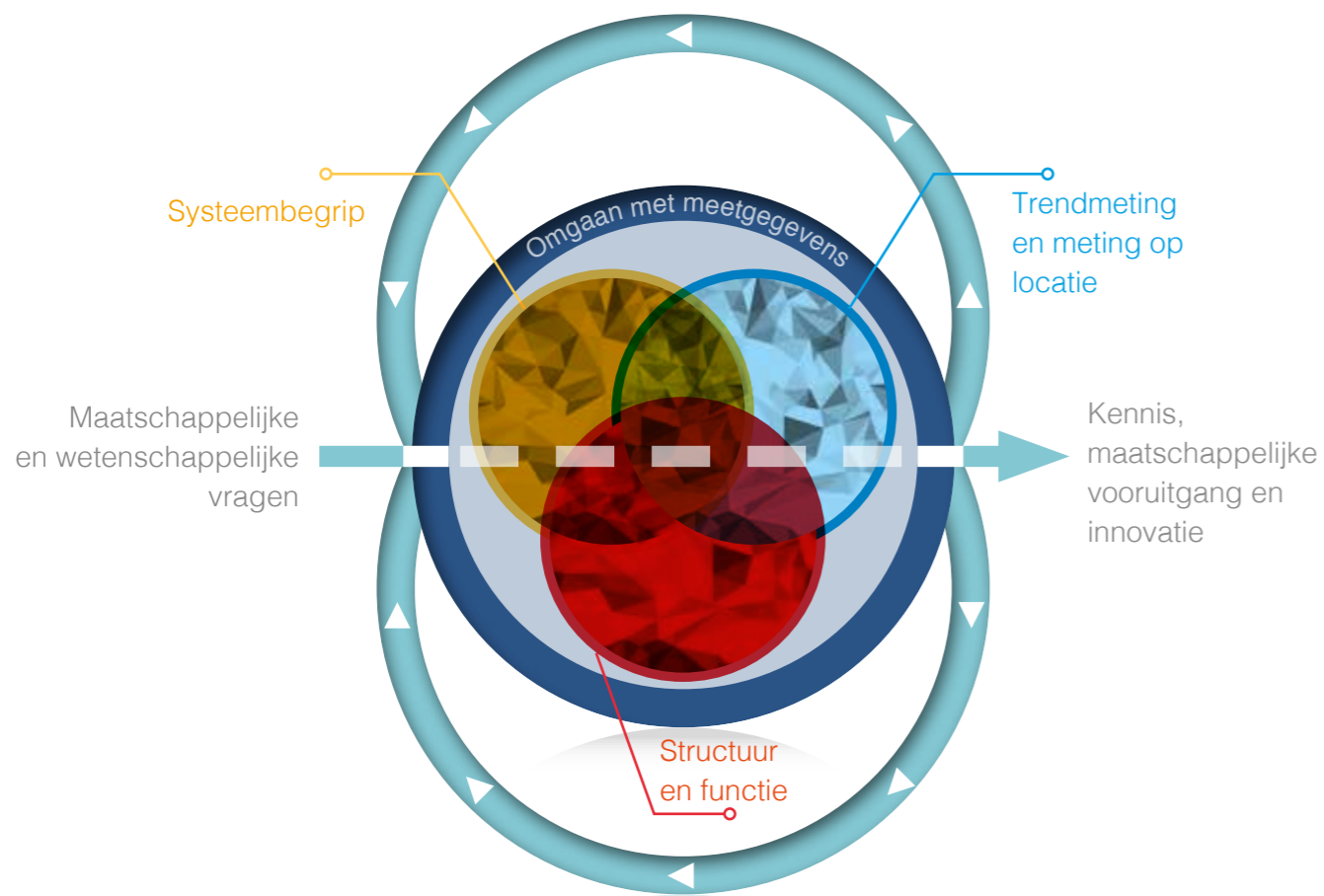
Systeembegrip staat of valt met begrip van de functie of het gedrag van de afzonderlijke componenten van dat systeem, en hun onderlinge interactie. Dit is onder andere van eminent belang voor de farmacie, om zowel de werking als bijwerkingen van medicijnen te kunnen begrijpen of om zonder dierproeven uitspraak te doen over de toxiciteit van verbindingen. Allereerst is het nodig om stoffen echt te leren kennen door meerdere structuuranalytische technieken in te zetten en het gedrag van de stof onder verschillende condities te bestuderen. Dit soort praktisch onderzoek kan versterkt worden door chemische en fysische berekeningen aan de confor-

maties. Een tweede stap is het in kaart brengen van de prestaties van de stof in haar functie. In wezen gaat het hier om het ontwikkelen van 'structuur-prestatie-relaties'. Een belangrijke succesfactor daarvoor is de beschikbaarheid van instrumenten waarmee we het gedrag van materie en de dynamiek van de componenten ervan tijdens hun gebruik of in hun functie kunnen bestuderen, zonder het systeem te verstoren. Er zijn enkele voorbeelden in wetenschap en industrie waar structuur en eigenschap of prestatie met elkaar in verband gebracht worden, maar deze zijn relatief beperkt en een generiek wetenschappelijk model ontbreekt. Door de Nederlandse publiek-private samenwerking op relevante wetenschapsgebieden is een platformfunctie goed te ontwikkelen.

4. Leren omgaan met meetgegevens

Droombeeld: Van analytische wetenschap naar analytische maatschappij; de verbinding van natuurkunde, chemie, biologie, statistiek, ethiek, recht, psychologie en ontwerp met gebruikers zoals telers, milieudeskundigen, voedingsdeskundigen, patiënten, artsen, burgers en operators, zodat wetenschappers en ontwikkelaars weten voor welke gebruikers ze iets ontwikkelen en gebruikers weten waarvoor en hoe ze de gegevens optimaal kunnen aanwenden.

Er zijn al honderden miljarden sensoren in gebruik voor een grote variëteit aan meettoepassingen, van milieumonitoring tot patiëntmonitoring, en van fabrieksmonitoring tot metingen aan infrastructuur en gebouwen. Dit sluit aan bij de in onze maatschappij toenemende behoefte aan zekerheid en het mijden van risico's, bijvoorbeeld op het gebied van psychische en lichamelijke gezondheid, voeding, veiligheid en integriteit van materialen. De burger zal niet alleen 'leven in een sensorium' maar zelf ook steeds meer deel gaan uitmaken van het team dat metingen uitvoert en interpreteert. Geminiaturiseerde meetapparatuur komt hierdoor in de handen van ongetrainde gebruikers en zal daardoor ook weleens verkeerd gebruikt worden. Deze ontwikkeling leidt tot een groeiende behoefte aan gevalideerde en gestandaardiseerde methoden om de kwaliteit van meetresultaten te bepalen en garanderen. Omdat meetgegevens ook zonder enige tussenkomst van experts gebruikt worden, in bijvoorbeeld het *Internet of Things*, is een nieuw soort kwaliteitsborging nodig. Deze kan gedeeltelijk ontwikkeld worden op basis van bestaande borgingsmethoden



en technieken, maar zal ook verregaande vernieuwing behoeven. Daarnaast kan educatie van zowel leek als wetenschapper helpen om slechte metingen en foutief gebruik van metingen te voorkomen. Inzetten op een goed begrip van de sterktes en zwaktes van de meetmethoden, de nauwkeurigheden, selectiviteit en specificiteit, alsmede op begrip van doel en gebruik van de metingen is daarbij cruciaal. De inhoudelijke training over deze basale aspecten van meetmethoden is geen probleem; de aanpassing van didactiek en onderzoek ten behoeve van identificatie van de meest effectieve didactische methoden zijn wel uitdagingen. Hiervoor zullen deskundigen op het gebied van meettechnologie, statistiek en didactiek de handen ineen moeten slaan en gezamenlijk onderzoek moeten entameren.

De wetenschap zal zeker in staat zijn om door verdergaand begrip van systemen de onzekerheidsmarges te verkleinen, maar onzekerheden zijn inherent aan meten. We moeten voor gebruikers inzichtelijk maken wat de betekenis van de onzekerheidsmarges is. Dit is extra relevant wanneer de meetresultaten slecht nieuws brengen. Vandaar dat een verbindend onderzoek met de psychologie op het gebied van perceptie en presentatie van resultaten op zijn plaats is. Ook komt hier de eerdergenoemde verbinding met de didactiek kijken.

Door gebruik van sensoren zullen we niet alleen veel te weten komen over het leven en over materie, maar ook over omgevingen en zelfs individuen. Vooruitgang in instrumentatie zal zo ook discussies over intellectueel eigendom, sociale acceptatie en privacy opleveren. Wie is eigenaar van de meetgegevens, van de informatie en van de kennis, en wat mag daar wel en niet mee gedaan worden? Wat mogen we doen met bijvangst? Unieke combinaties met ethisch en juridisch onderzoek moeten hier uitkomst bieden, maar niet zonder afschatting van de mogelijke impact en risico's van het 'in verkeerde handen vallen' van meetgegevens. Veiligheidsexperts moeten betrokken worden om oplossingen te ontwikkelen voor de beheersing van risico's. Ook zal onderzoek moeten worden gedaan naar de bewustwording van de maatschappij ten aanzien van de waarde van meetresultaten.

De ontwikkeling van een multidisciplinair platform dat zich richt op de sociale, ethische en juridische aspecten van meten en detecteren ligt voor de hand. Een geheel nieuw wetenschapsgebied, Analytische logica genaamd, moet geïnitieerd en aangestuurd worden vanuit bestaande samenwerkingsverbanden in de analytische wetenschap en technologie en de eerder genoemde overige betrokken wetenschapsdisciplines.

NeuroLabNL: dé werkplaats voor hersen-, cognitie- en gedragsonderzoek

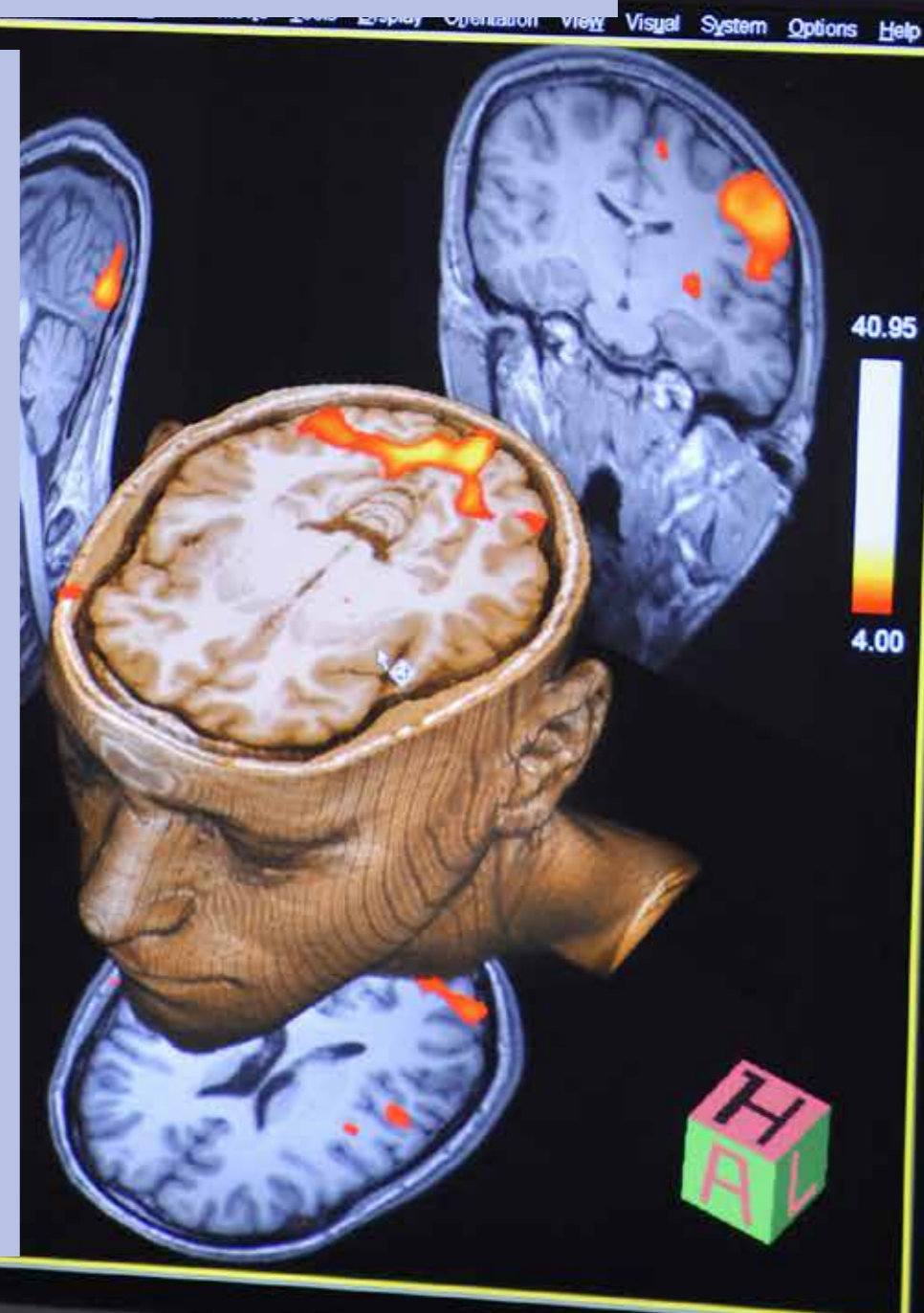
De komende tien jaar verwachten we grote wetenschappelijke doorbraken in ons begrip van de dynamische groei en verandering van onze hersenen gedurende de hele levensloop. De hier voorgestelde werkplaats NeuroLabNL is de gamechanger die wetenschappelijke doorbraken mogelijk maakt en gaat fungeren als de Universiteit van Nederland voor de hersenen, is dé werkplaats die alle Nederlandse hersen-, cognitie en gedragsonderzoekers en hun maatschappelijke partners samenbrengt. Het gebruik van recente en nieuwe kennis over de complexe relaties tussen hersenen, cognitieve functies, gedrag en omgeving zal leiden tot vele innovaties in de gezondheidszorg, in het onderwijs en op het terrein van veiligheid.

Wereldwijd staan vroegdiagnostiek van hersenveranderingen en preventie van mentale, ontwikkelings- en gezondheidsproblemen hoog op de wetenschappelijke en maatschappelijke agenda. Geïntegreerd lab-onderzoek – het samenbrengen van onderzoek naar moleculen, cellen, hersenbanen en gedrag bij mens en dier – brengt in combinatie met longitudinaal populatieonderzoek vroegtijdige signalering en preventie een stuk dichterbij.

De werkplaats NeuroLabNL kan binnen tenminste drie thema's verschil maken, namelijk op het terrein van gezondheid, sociale veiligheid en onderwijs. Onderzoek naar vroegdiagnostiek en preventie loopt als een rode draad door deze drie thema's. De kracht van NeuroLabNL zit in de onderlinge verbondenheid van de drie. Zo is bijvoorbeeld al bewezen dat kinderen die gezond leven, minder probleemgedrag vertonen en beter presteren op school.

Gezondheid: de schijf van vijf voor het brein

De 24-uurseconomie vraagt om flexibele burgers met fitte breinen. Om op alle leeftijden optimaal te kunnen functioneren, is de 'Schijf van Vijf voor het brein' belangrijk: voldoende slaap, gezonde voeding, optimale beweging, een goede sociale inbedding en een goede balans tussen stress en ontspanning. Deze Schijf van Vijf biedt ook aanknopingspunten voor breinen die minder fit zijn, zoals de hersenen van mensen met psychiatrische of psychosociale problemen. Vroege diagnostiek, vroege interventie en een aanpak op maat kunnen hen helpen om langer en beter een zo zelfstandig mogelijk leven te leiden.



Dat is voor henzelf plezierig en houdt tegelijk de kosten van de gezondheidszorg in toom. Onderzoek in gecontroleerde labsituaties en onderzoek naar grote populaties brengen een fit brein voor iedereen dichterbij. De combinatie van wetenschappelijke methoden met intensieve samenwerking met ziekenhuizen en zorginstellingen kan leiden tot wetenschappelijke doorbraken en oplossingen voor gezondheidsproblemen. Neem bijvoorbeeld onderzoek waarbij gebruik wordt gemaakt van brain computer interfaces (BCI's), waardoor mensen die verlamd zijn kunstmatige ledematen kunnen aansturen met hun gedachten. Denk ook aan *deep brain stimulation* van specifieke hersengebieden bij mensen met ernstige Parkinson, depressies of dwangstoornissen. Ook wordt er forse vooruitgang geboekt in onderzoek naar de mogelijke inzet van zorgrobots, onder meer bij mensen met dementie.

Toekomst: het StressPaspoort

Is iemand na een psychose voldoende hersteld om naar huis te gaan? Levert deze baan een burn-out of een bore-out op, of is hij precies goed? Dit zijn vragen die het Stresspaspoort straks kan beantwoorden. Teveel stress ligt aan de basis van talloze lichamelijke en psychische gezondheidsproblemen. Het Stresspaspoort bestaat uit drie pijlers. De eerste: biologische factoren, zoals cortisolgehalte en (epi)genetische variatie in het stresssysteem en hoe je brein reageert op stress. De tweede: iemands omgeving, zoals ervaren trauma's en sociale steun. De derde pijler bestaat uit psychologische factoren: Hoe ga je om met stress? Ben je optimistisch of juist angstig? Betrek je dingen op jezelf of niet? Op al deze verschillende onderdelen kun je lager of hoger scoren. Die scores samen geven, net zoals je geboortedatum, woonplaats en pasfoto in je echte paspoort, een uniek en individueel profiel dat voorspelt hoe iemand zich onder stress gaat gedragen: het Stresspaspoort. Zo kan beter worden bepaald welke mogelijkheden voor interventie er zijn, zodat mensen beter kunnen omgaan met stress. Dat bespaart maatschappelijke en economische kosten en houdt mensen gezond.

Sociale veiligheid: preventie probleemgedrag, stimulans veerkracht

Een maatschappij die inzet op zelfredzaamheid en burgerparticipatie moet weten onder welke voorwaarden kinderen en jongeren veilig en gezond kunnen opgroeien om burgers met deze gewenste eigenschappen te worden. Omgekeerd is kennis nodig over het ontstaan van probleemgedrag en gestoord gedrag. Slechte gewoonten, zelfbeschadigend en crimineel gedrag, afhankelijkheid en misbruik kunnen in het brein ingesleten paden worden die vaak moeilijk te verleggen zijn. Preventie, vroege interventie en persoonlijke monitoring kunnen helpen zulk gedrag te voorkomen, te dempen of van richting te veranderen. Onderzoek heeft laten zien dat bij jongeren in jeugd-detentie de hersengebieden die belangrijk zijn voor spontane inleving in anderen, minder sterk geactiveerd worden. Door dit soort inzichten te combineren met onderzoek naar de samenhang tussen neurobiologische factoren en antisociaal gedrag, kunnen we wellicht al vroeg in de ontwikkeling van kinderen negatief gedrag bijsturen en voor antisociale volwassenen gepersonaliseerde therapieën ontwikkelen die hen leren met hun stoornis om te gaan. In dat laatste geval kunnen ook draagbare sensoren die psychofysiologische processen meten meerwaarde hebben, doordat ze een effectievere behandeling en een betere taxatie van agressierisico's mogelijk maken.

Praktijkvoorbeeld: het Preventie Interventie Team

Het Preventie Interventie Team (PIT) is een samenwerkingsproject tussen de Universiteit Leiden en de gemeente Amsterdam. Het is gericht op kinderen die veel spijbelen, zich grensoverschrijdend gedragen, of deel uitmaken van hetzelfde gezin als een crimineel uit de top-600 criminelen van Nederland. De oorsprong van het programma ligt in sterke wetenschappelijke basiskennis over hoe de hersenen werken en tot welke kwetsbaarheden bepaalde omstandigheden aanleiding geven. Deze kinderen krijgen op school een neuropsychologische screening om hun individuele profiel van sociale leerbaarheid op te stellen.

De specifieke scores van een kind bepalen welke hulpverlening het krijgt. Zo is het voor het bepalen van de juiste interventies bijvoorbeeld belangrijk om te weten of een kind agressief reageert op anderen uit angst of omdat het kind het leuk vindt anderen pijn te doen. Deze snelle, specialistische en intensieve manier van hulpverlening is succesvol: het lukt om bij twee van de drie kinderen een negatieve ontwikkeling positief om te buigen.

Onderwijs: gemotiveerd een leven lang leren

In een kenniseconomie als de onze is het van het grootste belang om te weten hoe we kennis en vaardigheden aanleren; hoe en in welke periodes we dat voor elk individu kunnen optimaliseren; hoe we mensen van alle leeftijden intrinsiek kunnen motiveren om een leven lang te leren en welke rol technologische en digitale leermiddelen hierbij spelen. Hersenonderzoek in het onderwijs leert ons niet alleen hoe mensen leren, maar brengt ook onderwijs op maat voor elk individu dichterbij.

Onderzoek naar succesvolle leerstrategieën en gevoelige leerperiodes, individuele leerprofielen, de rol van taal bij het leerproces en de rol van multimedia bij het leren heeft inmiddels geleid tot een grote rijkdom

aan inzichten. Onderzoek met fMRI, waarbij de hersenactiviteit van mensen wordt geregistreerd terwijl ze in een scanner liggen, heeft laten zien op welke manier hersenontwikkeling kan voorspellen welke kinderen meer of minder vooruitgang boeken bij schoolse vaardigheden als rekenen en taal. De Rekentuin heeft een digitaal programma ontwikkeld waarmee jongeren in de klas op maat feedback krijgen op rekenuitkomsten, en zo hun prestaties kunnen verbeteren. Voor het aanleren van een tweede taal is een experiment met robots opgezet dat in de toekomst wellicht grote waarde heeft voor het snel laten leren en integreren van vluchtelingenkinderen op basis- en middelbare scholen.

Praktijkvoorbeeld: breinvriendelijk lesmateriaal

Eén van de belangrijkste toepassingsgebieden van kennis over de hersenen is het onderwijs. De afgelopen vijf jaar hebben leerkrachten, schoolbesturen en pabo's intensief samengewerkt met hersenwetenschappers om het onderwijs te verbeteren. Dit heeft geleid tot breinmodules en breinvriendelijk lesmateriaal, ontwikkeld door onder andere educatieve uitgeverijen. De integratie van hersenkennis en onderwijsimplementaties is hiermee een voorloper van directe maatschappelijke toepassingen van hersenen- en cognitieonderzoek.

Bouwen met NeuroLabNL

Investeren in hersen-, cognitie- en gedragsonderzoek is investeren in de basis onder vele routes van de Nationale Wetenschapsagenda. De uitgangspositie voor NeuroLabNL is goed wat betreft de zeer hoge kwaliteit en goede samenwerking in het Nederlandse onderzoek. Dit geldt ook voor de potentiële maatschappelijke impact. Maar de belangrijke en grote programma's zijn binnenkort allemaal afgerond.

NeuroLabNL bouwt voort op het succes van netwerken zoals *BrainGain*, het ICT Innovatieplatform *Brain and Cognition* en vooral het Nationaal Initiatief Hersenen en Cognitie (NIHC). Het NIHC heeft hersenonderzoek binnen Nederland samengebracht en vernieuwd. Het slaat met haar zeventig partners een brug tussen verschillende wetenschappelijke disciplines, maar ook tussen wetenschap, bedrijven en maatschappelijke praktijk.

De op te richten werkplaats NeuroLabNL zou verschillende mogelijkheden moeten kunnen bieden voor multidisciplinair en translationeel onderzoek. Op de eerste plaats moet worden gewerkt aan de verdere ontwikkeling van een multi- en interdisciplinair netwerk om zo enerzijds integratief wetenschappelijk onderzoek te stimuleren en anderzijds dit onderzoek te verbinden aan maatschappelijke praktijken. Daarnaast zou er ruimte moeten zijn voor kennis- en productontwikkeling en voor bevordering van praktische toepassingen. Ook zal NeuroLabNL duidelijk maken welke fundamentele inzichten nog missen, en waaraan we in de toekomst moeten werken. Tot slot is het noodzakelijk en profijtelijk aandacht te besteden aan gedeelde behoeftes aan data-infrastructuur, model- en methodeontwikkeling, internationale samenwerking en samenwerking met andere routes.

Samenwerking

Delen van kennis en expertise middels netwerken is belangrijk om maatschappelijke vragen te kunnen beantwoorden. De werkplaats NeuroLabNL heeft daarom de afgelopen jaren de ontwikkeling van een tweetal netwerken gestimuleerd.

Young NeuroLabNL is een platform voor en door jonge onderzoekers in het veld van hersen-, cognitie-, en gedragsonderzoek. Het doel van dit initiatief is om jonge onderzoekers een stem te geven, ze actief te betrekken bij hun onderzoeksveld en hun positie in dit veld te versterken, en om interdisciplinaire en multicentrische samenwerkingen te bevorderen. Meer weten? Ga naar: [Young NeuroLabNL](http://www.youngneurolab.nl).

Brain Cognition Behaviour – the Netherlands (BCB-NL) is een overkoepelend platform tussen de Nederlandse verenigingen en netwerken voor onderzoek naar hersenen, cognitie en gedrag. Hiermee bundelen wij de krachten en worden de belangen behartigd voor hersen-cognitie-, en gedragsonderzoek in Nederland en de maatschappelijke vraagstukken die hieraan gerelateerd zijn.

Meer weten? Ga naar: [BCB-NL Brain Cognition Behaviour - The Netherlands \(neurolab.nl\)](http://www.bcb-nl.nl).

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

Fundamentele kennis over het ontstaan, de evolutie en het functioneren van leven in alle mogelijke vormen is essentieel om toepassingsgerichte vragen te kunnen beantwoorden over bijvoorbeeld detectie en behandeling van ziekten en over risico's voor mens, dier en natuur van de voortdurende verandering van onze omgeving. Nieuwe wetenschappelijke en technologische doorbraken en een schaaloverschrijdende en transdisciplinaire aanpak zijn nodig om vragen zoals 'Waar komen we vandaan?', en 'Is er elders leven in het heelal?' te kunnen onderzoeken.

Nieuwe ziekten worden overgedragen van dieren op mensen of veranderen snel van eigenschappen. Bacteriën ontwikkelen in toenemende mate resistentie tegen antibiotica. Biologische systemen bezitten een inherente variabiliteit die het moeilijk maakt hun functioneren 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. Deze ontwikkelingen vragen om inzicht in het aanpassingsvermogen van het leven, vanaf de moleculaire schaal tot de schaal waarop de mensheid en de biosfeer zich moeten weren tegen mondiale natuurrampen. De manier om hier als Nederland antwoord te vinden, is door een (vooralsnog virtueel) instituut op te richten voor het realiseren van gezamenlijke onderzoeksplannen.

Binnen deze route bundelen de wetenschapsgebieden astronomie, aardwetenschappen, biologie, chemie, fysica, informatica en wiskunde voor het eerst hun krachten om grensoverschrijdend onderzoek naar fundamentele levensvragen mogelijk te maken. Een innoverende opzet maakt allerlei nieuwe dwarsverbanden mogelijk tussen onderzoek naar leven in het universum, de vorming en ontwikkeling van de aarde en de oorsprong en ontwikkeling van leven tot het maken van synthetische cellen, het voorspellen van evolutie en het bouwen en sturen van leven op elke denkbare schaal.

Vijf samenhangende wetenschappelijke subthema's vormen de basis voor deze wetenschappelijke en culturele gamechanger:

Het ontstaan van de aarde en van het leven reconstrueren

Om te kunnen reconstrueren hoe het allemaal begon, moeten we eerst antwoorden vinden op vragen als: Hoe ontstaan aardachtige planeten, en wat is hun samenstelling? Wanneer en onder welke omstandigheden ontstaat daar leven uit een mengsel van moleculen? En hoe ontstaan en functioneren complexe meercellige organismen? Daarnaast moeten we leren 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 zijn complexiteit werkelijk doorgrond worden, biedt dit nieuwe kansen ten aanzien van toepassingen in onder andere de bestrijding van ziekte, het bevorderen van gezondheid, de voedselproductie en het stimuleren van 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 omgeving. Er zijn nieuwe diepe inzichten, dwarsverbanden, onderzoeksmethodieken en technologieën nodig om evolutie niet alleen terugkijkend te kunnen reconstrueren en begrijpen, maar ook te kunnen voorspellen. Een tweede vereiste is meer inzicht in externe omstandigheden zoals de kans en aard van grote vulkaanuitbarstingen, komeetinslagen, of de omkering van het aardmagnetisch veld. Als evolutie voorspeld

kan worden, wordt het beter mogelijk ongewenste evolutionaire effecten, zoals resistentie bij bacteriën en virussen, het ontstaan van nieuwe ziekten en plagen, tumorplasticiteit en wellicht zelfs conflicten tussen mensen te voorkomen.

Het leven van molecuul tot biosfeer bouwen en sturen

Om de werking van het leven te kunnen doorgronden, moeten we meer weten van het vrijwel onontgonnen terrein van complexe en dynamische interacties tussen bouwstenen van het leven op een breed scala aan niveaus, variërend van (bio)moleculen, cellen en organismen, tot aan ecosystemen en biosferen. Door het leven na te bouwen kunnen we komen tot daadwerkelijk begrip over de functionele werking ervan. Dit alles vereist moderne technologieën en mathematische modellen. Als we leven gericht kunnen sturen, zal het mogelijk zijn om verstoord 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 ze nog niet bestaan zijn verloren of sterk zijn aangetast.

Buitenaards leven vinden

Om de vraag naar het bestaan van buitenaards leven te kunnen beantwoorden, moeten we kenmerkende planetaire omstandigheden en de bijhorende indicatoren voor buitenaards leven leren herkennen.

Als we inderdaad sporen van leven vinden op een andere planeet, biedt dat aanknopingspunten voor het begrip van onze eigen herkomst. Daarnaast zal zo'n ontdekking enorme filosofische, religieuze en politieke consequenties hebben. De zoektocht naar buitenaards leven levert bovendien ook een verdieping op van de kennis van mogelijke chemische en fysische omstandigheden waarin aards en kunstmatig leven kan bestaan.



sische omstandigheden die het leven mogelijk maken op het niveau van het universum. Vanaf de vorming en evolutie van planeten naar biosfeer, ecosysteem, organisme en cel tot aan individuele moleculen. Onderzoek op deze terreinen zal niet alleen leiden tot nieuwe inzichten omtrent de positie van het leven in het heelal maar zal ook grote maatschappelijke veranderingen inluiden. Met het uitbouwen van de mogelijkheden om in te grijpen komt immers een grotere verantwoordelijkheid voor het handelen.

Impact: wetenschappelijk, maatschappelijk, economisch

De fundamentele vragen over de oorsprong van het leven zijn aansprekend voor velen, van de schoolgaande jeugd tot toponderzoekers. We moeten het nu aanwezige potentieel gebruiken voor het beantwoorden van deze vragen en om nieuw talent aan te trekken, zodat we de kenniseconomie kunnen worden die Nederland in 2030 wil zijn. Dat kan met een langlopend programma dat tot de verbeelding spreekt van de komende generatie. Bovendien levert vooral het fundamentele, uitdagende onderzoek doorgaans de baanbrekende technologische innovaties op die tot een maatschappelijke en economische impuls kunnen leiden. De mensheid zal alleen op de lange termijn op aarde kunnen overleven als we snappen hoe moleculaire en cellulaire netwerken van eencellige en meercellige organismen werken 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 levende systemen kunnen aanpassen om risico's van een veranderend leefklimaat te verkleinen.

Breed transdisciplinair programma

Om Nederland binnen en buiten Europa te profileren moeten de bestaande internationale verbanden versterkt worden via een breed opgezette langlopende onderzoeksambitie. Het grootste deel van de huidige investeringen in dit veld 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

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. Dat gaat van de fy-



de wetenschap is hard nodig om het lopende onderzoeksbeleid uit te kunnen voeren en de topposities in de afzonderlijke velden te handhaven.

Op dit moment zijn samenwerkingsverbanden in Nederland vooral georganiseerd rondom toepassingsgerichte vragen. Er is geen breed programma waarin fundamenteel transdisciplinair langetermijnonderzoek mogelijk is. Transdisciplinair toponderzoek heeft onderzoekers nodig die opgeleid worden en werken in een samenhangende context. Daarom is het inrichten van een virtueel centrum rondom deze thematiek zinvol.

Landelijk centrum

Er moet een nieuw landelijk centrum verrijzen dat de krachten en ideeën bundelt die samenkomen in deze route en een nieuw platform biedt voor de ontwikkeling van de vereiste apparatuur, infrastructuur, ICT en logistiek voor nieuw transdisciplinair onderzoek en voor grensoverschrijdende projecten. Het centrum heeft zelf geen wetenschappers in dienst, maar bestaat alleen uit een faciliterende organisatie. Wetenschappers participeren in het centrum vanuit hun eigen instelling.

Vanuit dit centrum wordt ook gezamenlijk financiering aangevraagd voor de benodigde grote apparatuur en faciliteiten. 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.

Voor de huidige en toekomstige Europese roadmap voor infrastructuur vragen nu verschillende groepen kleine en min of meer onafhankelijke bijdragen voor de Nederlandse deelname. Een aan het centrum gekoppelde infrastructurele faciliteit zou hier voor een grote meerwaarde en samenhang kunnen zorgen. Daarnaast zal zo'n faciliteit de aantrekkelijkheid van Nederland voor toponderzoekers versterken.

Uitvoering

Aan de hand van uitvragen in het Origins netwerk is een uitgebreide roadmap opgesteld die breder is dan de gamechangers, die in 2016 zijn gedefinieerd. Zij vormen de basis waarop de gamechangers gestoeld zijn en schetsen het onderliggende landschap van vragen die beantwoord moeten worden om de gamechangers te kunnen bewerkstelligen.

Naar aanleiding van de gamechangers hebben we de volgende netwerken binnen de route ontwikkeld:

- Origin and co-evolution of earth-like planets and life
- Predicting evolution of life
- Building and repairing life - from molecule to ecosystem
- Finding extraterrestrial life
- Bridging long temporal and spatial scales
- Emergence of homochirality in living systems

Op weg naar veerkrachtige samenlevingen

veerkrachtige samenlevingen zijn in staat schokken op te vangen die ontstaan als gevolg van migratie, klimaatverandering, nieuwe technologieën, sociaal-culturele diversiteit en geopolitieke verschuivingen. Ze kunnen daarnaast anticiperen op toekomstige uitdagingen en op lange termijn consequenties van veranderingen, op lokaal, nationaal en mondiaal niveau. En ze vinden nieuwe evenwichten, zelfs in een instabiele context. Deze route versterkt de veerkracht en toekomstbestendigheid van de maatschappij.

Dit co-creatiemodel is hier uitgewerkt voor de drie domeinen – politiek-bestuurlijk, sociaal-economisch en cultureel-maatschappelijk – die samen de pijlers van de veerkrachtige samenleving vormen. Voor elk van deze domeinen staat één gamechanger centraal. Om richting en onderlinge samenhang tussen deze drie gamechangers te optimaliseren, werkt de route veerkracht met twee focusgebieden: welvaart door inclusie en adaptieve instituties voor een robuuste economie en samenleving.

Naar nieuwe vormen van politiek-bestuurlijke arrangementen

Politiek, openbaar bestuur en beleid staan voor een dubbele uitdaging. Enerzijds neemt het vertrouwen in hen af en staat hun legitimiteit onder druk. Anderzijds zijn Nederland en de wereld minder stuurbaar geworden, mede als gevolg van globalisering en vervaging van grenzen. Nieuwe politiek-bestuurlijke arrangementen moeten hierop inspelen. Er wordt geëxperimenteerd met vormen van directe democratie, maar die zijn nog geen groot succes.

Ook wordt veel verwacht van de participatie en het eigen initiatief van burgers en van zelfsturing door kleinschalige verbanden. De opdracht is om die ook toe te rusten voor de aanpak van grootschalige en mondiale problemen, en omgekeerd, om die grote problemen hanteerbaar te maken in een kleinschalige context.

Deze uitdagingen confronteren lokale en regionale instellingen met een grotere rol, waarvoor ze lang niet altijd voldoende zijn toegerust. De hervorming van de verzorgingsstaat kampt met kwaliteitsproblemen, de transitie naar duurzaamheid vergt meer flexibiliteit, ter-

wijl culturele diversiteitsvraagstukken een ongekende complexiteit kennen. In alle gevallen wordt veerkracht gezocht in nieuwe vormen van participatie, in nieuwe politieke instituties en bestuurlijke praktijken, en in effectieve communicatie via nieuwe (sociale) media en ICT. Tegelijk moeten de uitgangspunten van de democratische rechtsstaat intact blijven en mag participatie niet ontaarden in nieuwe ongelijkheden en vormen van uitsluiting.

Voor deze problemen is geen pasklaar bestuursmodel voorhanden. Door onderzoek en co-creatie moeten nieuwe arrangementen ontwikkeld worden die voortbouwen op de sterktes van het poldermodel en die datzelfde poldermodel tegelijk herijken. Nederland beschikt op dit gebied over een goede kennisinfrastructuur, die op dit moment echter nog onderbenut wordt.

Naar nieuwe vormen van werk en waardecreatie

De manier waarop burgers en de samenleving met arbeid omgaan, verandert sterk door de komst van nieuwe technologie, robotisering en digitalisering van productie en kenniswerk. Ook toenemende sociale ongelijkheid en culturele diversiteit, demografische verschuivingen en de veranderende opvattingen over publieke dienstverlening grijpen in op de verhoudingen op en rond het werk. De werkplek fungeert als plaats om ervaring en vaardigheden op te doen.

Bovendien heeft het werkende deel van de bevolking het gevoel dat men 'meedoet'. De beroepsbevolking moet mogelijkheden krijgen om nieuwe competenties aan te leren die nodig zijn om te kunnen blijven participeren. Daarnaast moeten bedrijven en organisaties

mogelijkheden bieden en de wil hebben om te streven naar inclusiviteit, zodat iedereen kan meedoen. Technologie levert daarbij kansen op, bijvoorbeeld door een positief effect uit te oefenen op de zelfredzaamheid van ouderen of de reïntegratie van mensen met een beperking, en daarmee op hun mogelijkheden tot participatie. Maar tegelijkertijd staan arbeidsrelaties, sociale netwerken en vangnetten onder druk, wat potentieel tot spanning leidt.

De huidige veranderingen vragen om nieuwe vormen van samenwerking, nieuwe verdienmodellen, lerende organisaties en een andere inrichting van de arbeidsmarkt en de economie. Ook nieuwe vormen van werk en opleiding zijn nodig die ingericht zijn op een leven lang leren, en die mensen de competenties van de 21ste eeuw verschaffen om op zinvolle, gemotiveerde wijze te participeren in de lerende economie. Uitgangspunt daarbij zijn nieuwe scenario's voor de manier waarop we inkomen verwerven, welvaart delen en sociale zekerheid bieden. Dat kunnen we doen door te experimenteren, praktijksituaties te onderzoeken en vernieuwingen te initiëren en door maatschappelijke

afwegingen inzichtelijk te maken. Door haar schaal en hoge organisatiegraad is Nederland daarvoor een ideale proeftuin.

Naar nieuwe vormen van inclusiviteit en samenhang

Migratie, globalisering en technologie leiden tot polarisering, culturele tegenstellingen en sociaaleconomische ongelijkheid. Het beeld van wie wij zijn en waar wij bij horen verandert. Er komen nieuwe netwerken en gemeenschappen tot stand, die nieuwe benaderingen vragen en bieden. Organisaties zien zich gedwongen om hun visies en praktijken te herijken, teneinde hun doelen en doelgroepen te bereiken. Op dit kruispunt van sociale continuïteit en verandering ontstaan belangen en visies die met elkaar concurreren of zelfs conflicteren. Ons perspectief op die snel veranderende pluriforme samenleving roept om bezinning en herziening, maar tegelijkertijd om actie.

Samenlevingen onttelen hun veerkracht mede aan de mate van participatie en identificatie van al hun burgers. Burgers zullen zich moeten verhouden tot

culturele en religieuze tegenstellingen en de veranderde rol van gezin en nieuwe huishoudensvormen. Daarnaast moeten we ook antwoorden vinden op verschillen tussen arm en rijk. Onderwijs- en culturele instellingen dienen nieuwe mondiale en technologische perspectieven te integreren en daarbij ook laaggeletterden te betrekken.

Zorginstellingen, levensbeschouwelijke organisaties en publieke media hebben handvatten nodig om normatieve en levensbeschouwelijke kwesties bespreekbaar te kunnen maken en ernaar te kunnen handelen. Buurtorganisaties, sportverenigingen en ondernemingen moeten kunnen profiteren van de kracht van diversiteit, maar moeten ook leren omgaan met de lastige kanten daarvan.

Een veerkrachtige samenleving onderscheidt zich door improvisatiekracht, vermogen tot scherpe waarneming en reflectie, integraliteit, en zingeving als intrinsieke motivatie van haar burgers om deel te nemen. Op dit terrein bestaan er al talrijke maatschappelijke initiatieven en experimenten. De combinatie van dergelijke initiatieven en experimenten met wetenschappelijke analyses van processen van inclusie en sociaal-culturele diversiteit vormt een krachtige motor om antwoorden te vinden op de hier geformuleerde, dringende, maatschappelijke vragen.

Focusgebied: welvaart door inclusie

Hoe kunnen we voorkomen dat talent en innovatiekracht verloren gaan, terwijl die juist keihard nodig zijn om de fundamentele maatschappelijke transitie te volbrengen, zoals de energie- en klimaattransitie, de woningmarkttransitie en de overgang naar de digitale samenleving?

Onze brede welvaart wordt in sterke mate gedreven door technologische en sociale innovatie en de beschikbaarheid van voldoende menselijk talent. Innovatie is naast herstel en anticipatie een van de bepalende kenmerken van een veerkrachtige samenleving. Innovatie biedt dus kansen waar iedereen van moet kunnen profiteren en aan deel moet kunnen nemen,

ongeacht haar of zijn achtergrond, sociale klasse, opleiding, leeftijd, gender en beperkingen. Om de omslag naar een inclusievere economie en arbeidsmarkt te versnellen zijn nieuwe strategieën, arrangementen en instrumenten nodig, die voortbouwen op lokale en regionale experimenten om inclusie en participatie te bevorderen.

In navolging van het SSH-beraad onderzoeksprogramma 'Welvaart door Inclusie' (WIN) wil de route Veerkracht de krachten in Nederland helpen bundelen en een 'boost' geven aan inclusie en participatie. In het bijzonder gaat het daarbij om drie richtinggevende vragen binnen dit thematische focusgebied:

- Conceptueel en theoretisch: Hoe kunnen we het inclusiviteitspotentieel van de economie en arbeidsmarkt beschrijven, verklaren en beoordelen? Hoe komen we van distributieve rechtvaardigheid naar contributieve rechtvaardigheid en tot meer solidariteit en menselijke maat? Enkele voorbeelden: toegang tot duurzaam en betaald werk, arrangementen voor leven lang ontwikkelen, voorkomen van mismatches en werkloosheid als gevolg van technologische ontwikkelingen, tegengaan van armoede, sociale uitsluiting, uitval en kansengelijkheid - ook in het (beroeps)onderwijs.
- Empirisch en verklarend: Welke institutionele en organisatorische ontwerp vragen, nieuwe vormen van werken, produceren, dienstverleners en ondernemen zijn daarbij aan de orde? Wat kunnen wij leren uit onderzoek naar sociale innovatie van de economie, de arbeidsmarkt, arbeidsrelaties en sociale zekerheid? Wat betekent dit voor strategie, beleid en leiderschap binnen deze instituties?
- Ontwerpend en interventiegericht: Hoe kunnen wij het adaptief en innovatief vermogen van de betreffende instituties en organisaties vergroten? Welke nieuwe instituties en organisaties zijn nodig? Hoe kan de samenwerking tussen verschillende schaalniveaus worden geoptimaliseerd? Welke ontwerp vragen, normatieve en strategische afwegingen, spanningen en aanpassingsmechanismen zijn daarbij aan de orde? Welke interventies 'werken', en welke niet of minder goed?

Focusgebied: adaptieve instituties

Hoe kunnen wij ervoor zorgen dat crises niet als destructieve game-changers in het politiek, economie en samenleving gaan fungeren? De Coronapandemie heeft, net als eerder al de energie-, financiële, monetaire, klimaat- en migratiecrises van de afgelopen vijftien jaar, onderlinge afhankelijkheid tussen politiek-bestuurlijke en sociaal-economische instituties scherp blootgelegd. Er zijn tussen en binnen staten en sectoren grote verschillen zichtbaar geworden in hun wendbaarheid, reflexiviteit en innovatiekracht.

Daarbij zal het niet blijven. In een wereld waarin zowel sluipende als acute crises een ontwrichtende werking kunnen hebben op markten, logistieke ketens, vitale infrastructuren en sociale cohesie, worden politiek-bestuurlijke en sociaal-economische instituties zwaar op de proef gesteld. Instituties moeten immers ook tijdens systeemdisrupties hun normerende, ordenende, conflictbeslechtende en betekenis gevende werking kunnen blijven vervullen.

Daarvoor is systematisch onderzoek naar institutionele veerkracht en adaptatie cruciaal. In het bijzonder gaat het daarbij om drie richtinggevende vragen binnen dit thematische focusgebied:

- Conceptueel en theoretisch: Hoe kunnen wij het adaptief vermogen van cruciale politiek-bestuurlijke en sociaal-economische instituties beschrijven, verklaren en beoordelen? Denk bijvoorbeeld aan de democratische rechtsstaat, de representatieve democratie, het ambtelijk apparaat, de overlegeconomie, de arbeidsmarkt en het sociaalezekerheidsstelsel.

- Empirisch en verklarend: Wat kunnen wij leren uit historisch, vergelijkend en/of prospectief onderzoek naar responses op en gevolgen van diepe crises? Welke combinaties van factoren en omstandigheden bepalen de speelruimte die maatschappelijke en politiek-bestuurlijke actoren in een crisis ervaren om initiatieven te bedenken en ontwikkelen en coalities te bouwen voor adaptieve institutionele responses?
- Ontwerpend en interventiegericht: Hoe kunnen wij het adaptief vermogen van de genoemde instituties vergroten? Welke ontwerpvragen (bijvoorbeeld over tijdshorizonten en toekomstbeelden, maar ook over het identificeren van effectieve hefboomen voor onderzoekende, reflexieve in plaats van politiek-strategische en reflexmatige crisisresponses) en normatieve respectievelijk strategische afwegingen zijn daarbij aan de orde? Welke interventies 'werken', welke niet of minder goed?

Duurzame investering

Deze route stelt het proces van co-creatie, de intensieve wisselwerking tussen wetenschappelijke en maatschappelijke actoren, centraal. Systematisch onderzoek naar de voorwaarden voor veerkrachtige samenlevingen is nu nog schaars, maar noodzakelijk in het licht van de geschetste uitdagingen. Financiële middelen en een infrastructuur zijn nodig om daadwerkelijk een ecosysteem in te kunnen richten waarin onderzoek en kennisinstellingen uit maatschappij en bedrijfsleven elkaar op dit terrein kunnen versterken.

Personalised medicine: uitgaan van het individu

Effectieve zorg voor elke individuele patiënt zo dicht mogelijk bij huis. Dat is in het kort het ideaalbeeld van *personalised medicine*. Om dit mogelijk te maken voor het groeiende aantal patiënten met chronische aandoeningen, is een revolutie nodig, zowel in verwerving van kennis als in de organisatie van de zorg. Naast forse investeringen in een solide data-infrastructuur en in technologische en methodologische ontwikkelingen, zijn nieuwe kenniscoalities en intensief contact met de patiënt en maatschappij onontbeerlijk.

Elke patiënt heeft unieke kenmerken die belangrijke consequenties kunnen hebben voor het verloop en het effect van een behandeling. Datzelfde geldt voor elke ziekte. Ook omgevingsfactoren vertonen een grote variatie. Daardoor bestaan er grote verschillen tussen patiënten met ogenschijnlijk dezelfde aandoening. *Personalised medicine* vereist dat er zicht komt op de variatie tussen individuen en hun aandoeningen, zodat niet effectieve zorg en daardoor onnodige kosten worden voorkomen en elke patiënt samen met de arts de voor hem of haar (kosten-)effectieve behandeling met minimale bijwerkingen kan kiezen.

Idealbeeld

Het individu staat centraal in de gezondheidszorg. In de toekomst kan dankzij de toegenomen kennis over ziektemechanismen aan de hand van gegevens uit vragenlijsten, laboratoriumonderzoek en diagnostiek op elk moment worden vastgesteld hoe het ervoor staat met iemands gezondheidstoestand en hoe deze zich in de komende jaren zal ontwikkelen. Dreigt er een depressie? Een hartinfarct? Een vorm van kanker? Op een later moment in het leven is er misschien al sprake van ziekte. De patiënt krijgt dan persoonlijke informatie over de meest effectieve behandelingen, niet alleen passend bij zijn diagnose, maar ook bij zijn persoonlijke genetische profiel, leefstijl, dieet, ziektegeschiedenis, et cetera.

Personalised medicine begint dus al met preventie, levert zo nodig gerichte interventies en gaat zo door tot en met de gepersonaliseerde terminale zorg. Het belang van *personalised medicine* wordt alom herkend en erkend; 21 van de 140 clustervragen van de NWA hebben direct betrekking op *personalised medicine*.

Gamechangers

Personalised medicine is belangrijk voor alle aandoeningen en speelt een rol in alle facetten van de gezondheidszorg, van preventie tot terminale zorg. Daarom zal vooral geïnvesteerd moeten worden in infrastructuur en ontwikkelingen die in die breedte toepasbaar zijn. Belangrijke gamechangers zijn:

- een nieuwe kijk op gezondheid;
- een krachtige *Personalised Medicine & Health Research Infrastructure*, gevoed met betrouwbare *Findable, Accessible, Interoperable* en *Re-usable* gegevens;
- nieuwe methodologieën en technologische toepassingen om uitkomsten in het individuele geval beter te voorspellen, daar de behandeling op af te stemmen en het succes van deze behandeling vervolgens weer betrouwbaar te meten;
- goede communicatie en educatie gericht op de veranderingen die *personalised medicine* met zich meebrengt;

- versterkte samenwerking tussen fundamentele, translationele en klinische onderzoekers en tussen kennisinstellingen, onderzoeksfinanciers en bedrijven.

Variatie centraal

Personalised medicine vraagt om een totaal andere kijk op ziekten, patiënten en data. Dat begint ermee dat we niet langer kijken naar de grootste gemene deler, maar juist nieuwsgierig worden naar de verschillen tussen patiënten. Dat is de essentie van de systeembiologische benadering. Hoe komt het dat hetzelfde geneesmiddel bij de een wel werkt en bij de ander niet? Wat maakt dat de ene patiënt met een uitgezaaid melanoom binnen een half jaar overlijdt, terwijl een lotgenoot met dezelfde tumor in hetzelfde stadium nog tien jaar leeft?

Verbindingen nodig

Niet alleen individuen verschillen op zeer veel manieren van elkaar. Ook ziekten die ogenschijnlijk hetzelfde zijn, verschillen vaak aanzienlijk in moleculaire eigenschappen. Dit heeft gevolgen voor de agressiviteit van de ziekte en de gevoeligheid voor therapie. Welk van deze verschillen is verantwoordelijk voor de variatie in uitkomst bij een bepaalde ziekte? Om die vraag te kunnen beantwoorden, zijn enorme hoeveelheden gegevens nodig van zeer grote aantallen mensen en ziekten. Big data dus. Daarnaast zijn ook frequente, longitudinale metingen bij individuen en hun aandoeningen cruciaal. Initiatieven zoals het NFU-project Registratie aan de Bron en een gemeenschappelijk elektronisch patiëntendossier (EPD) zijn absolute voorwaarden hierin. In de afgelopen jaren is al veel geïnvesteerd in het opzetten van data-infrastructuren en biobanken. In de komende jaren moeten deze verschillende databronnen met elkaar worden gecombineerd en onderzoeksprogramma's meer op elkaar worden afgestemd. Het initiatief *Personalised Medicine & Health Research* infrastructuur sluit hier goed bij aan. Dat vraagt uiteraard wel om zorgvuldige maatregelen in het belang van de privacy.

Naast kwantiteit van data is ook de kwaliteit ervan belangrijk. Zeker als gegevens verzameld worden voor andere doeleinden dan wetenschap (zorgverlening, dienstverlening, marketing, et cetera) is het niet altijd vanzelfsprekend dat alle data op dezelfde manier tot stand komen en met dezelfde betrouwbaarheid worden vastgelegd.

Gericht wetenschappelijk onderzoek

In de komende jaren zullen fundamentele onderzoekers samen met translationele onderzoekers, klinici en epidemiologen de huidige kennis over ziekteprocessen en interventies verder moeten verfijnen. Nieuwe methodes, zoals het genereren van stamcellen (IPS-cellen) uit patiëntmateriaal, microbiom-analyse, *organs-on-a-chip* en technologie om genen te editen (CRISPR-CAS9), maken het mogelijk om veel sneller dan voorheen heen en weer te schakelen tussen laboratorium en kliniek.

Tevens zal geïnvesteerd moeten worden in technieken om bij patiënten op een minimaal invasieve manier de informatie te verzamelen waarop een behandeling gebaseerd kan worden. Voorbeelden zijn "liquid biopsies" bij kanker, beeldvormende technieken en methoden om te meten of de dosering van gegeven medicatie adequaat is.

Ook is het belangrijk dat de onderzoeksmethodologie vernieuwd wordt om voor kleine aantallen patiënten en misschien wel individuen de toegevoegde waarde van een interventie vast te kunnen stellen. De evaluatie van nieuwe interventies verdient speciale aandacht.

Goede communicatie en educatie

Artsen en andere zorgprofessionals moeten leren omgaan met nieuwe beslissingsinstrumenten en met een breed palet aan communicatiemiddelen. In het rechtstreekse contact, maar ook via uiteenlopende e-health applicaties dienen zij de patiënt te informeren en te motiveren en samen met de patiënt te beslissen

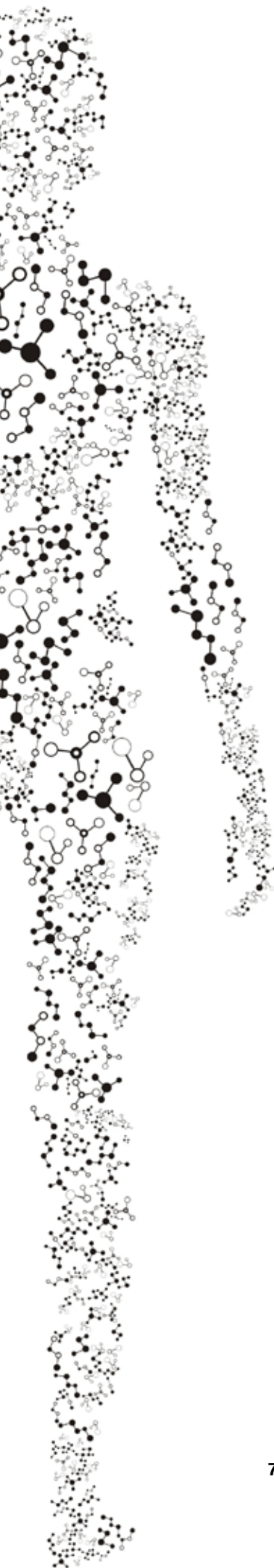
over mogelijke behandelingen. Opleiding en nascholing zijn dus belangrijke voorwaarden voor het succes van *personalised medicine*. Op het individu gerichte communicatie is in de praktijk misschien wel de belangrijkste voorwaarde. Gezondheidsinformatie moet gepresenteerd worden op een manier die uitnodigt tot concrete handelingen en beslissingen, en die aansluit bij het niveau van de patiënt. In massacommunicatie en onderwijs moeten alle (toekomstige) patiënten mee worden genomen in de ontwikkelingen en mogelijkheden van *personalised medicine*. Het nieuwe model vraagt immers om een actieve rol van de patiënt, als regisseur en actief lid van het team dat zijn of haar gezondheid bewaakt.

Nieuwe allianties

Om de hier geschetste ambities waar te maken, is niet alleen veel gecoördineerd onderzoek nodig, maar ook ontwikkeling van nieuwe producten en nieuwe vormen van zorg. Het dichten van de innovatiekloof tussen wetenschap en praktijk vraagt om samenwerking tussen partners die elkaar nu nog niet altijd goed weten te vinden. Binnen het biomedisch onderzoek zal nog meer samenwerking ontstaan tussen fundamentele, translationele en toegepaste onderzoekers. Daarnaast is de expertise nodig van onderzoekers van technische universiteiten, uit de sociale wetenschappen en de informatica. Om daadwerkelijk innovatie te kunnen realiseren in de zorgpraktijk, moeten bedrijven nieuwe kennis doorontwikkelen tot bruikbare producten en standaarden. Tot slot zal de inrichting en organisatie van de zorg veranderen met de opkomst van e-health en domomedicine: medische toepassingen thuis.

Bredere dialoog

Deze ingrijpende verandering in het medisch wetenschappelijk onderzoek en de praktijk van preventie, behandeling en zorg kan niet tot stand komen zonder de patiënt, oftewel de Nederlandse burger. Naast individuele communicatie zal ook een bredere dialoog met grotere groepen in de samenleving nodig zijn. In die dialoog zijn ethiek en wetgeving belangrijke



thema's. Het verzamelen, opslaan, delen, verbinden en gebruiken van grote datasets met privacygevoelige gegevens heeft belangrijke ethische en juridische implicaties. Wie is bijvoorbeeld eigenaar van de gegevens? De huidige regelgeving werpt grote barrières op tegen het verzamelen en delen van gegevens, ook als dit gebeurt in het belang van wetenschappelijk onderzoek. Oplossingen hiervoor moeten zowel recht doen aan het belang van privacy als aan het belang van betere zorg door *personalised medicine*.

Daarnaast hebben nieuwe onderzoeksmethodologieën en ethische consequenties. Waar de gegevens van het individu onderdeel uitmaken van astronomische datasets, kan het lastig worden om invulling te geven aan het theoretische recht van dat individu om zich op elk moment terug te trekken uit het onderzoek. Deze en andere kwesties vragen om een tijdige dialoog en gedegen onderzoek met een kritische evaluatie van goede en ongewenste praktijken in het buitenland.

Heldere financiering en vergoeding

Personalised medicine is niet alleen gewenst om betere zorg te kunnen leveren, het is ook een absolute noodzaak gezien de veroudering van de bevolking en de toename van het aantal patiënten met een of meer chronische aandoeningen. Uiteindelijk moet de zorg dankzij de hiervoor genoemde ontwikkelingen kosteneffectiever, betaalbaarder en minder arbeidsintensief worden.

Daarbij spelen nog wel vooralsnog onbeantwoorde vragen: Hoe financieren we het noodzakelijke onderzoek? Hoe stemmen we de onderzoeksprogramma's beter op elkaar af? Welke mogelijkheden voor financiering biedt publiek-private samenwerking? En hoe ziet uiteindelijk het systeem van vergoedingen eruit in een zorg die zo anders is dan de huidige?

Het is bijvoorbeeld belangrijk om de toekomstige vergoeding mee te nemen in de ontwikkeling van *personalised medicine*, via proeftuinen en voorbeeldtrajecten. Zorgverzekeraars en andere bedrijven zoals e-health ontwikkelaars zullen actief betrokken moeten worden, opdat zij mee investeren en later mede de vruchten plukken.

Op weg naar personalised medicine

Het hier geschetste beeld van *personalised medicine* is ambitieus, maar zeker niet onhaalbaar. Er bestaat al veel kennis over biomarkers waarmee de gezondheidstoestand en eventuele ziekteprocessen in kaart gebracht kunnen worden. Het inzicht in onderliggende biologische mechanismen groeit met de dag. En er zijn al dwarsverbanden aan het ontstaan tussen de verschillende spelers.

Uiteindelijk is het de bedoeling dat deze ontwikkeling in de gezondheidszorg ten goede komt aan de Nederlandse patiënt, Nederlandse bedrijven en het geheel van onze samenleving.

De quantum / nano-revolutie

We staan aan de vooravond van een nieuwe technologische en industriële revolutie, die voortkomt uit de laatste ontwikkelingen in de quantum- en nanotechnologie. Dankzij nanotechnologie zijn we in staat materie op de schaal van individuele atomen en moleculen niet alleen te bestuderen, maar ook naar onze hand te zetten. Op deze schaal gaan de wetten van de quantummechanica een belangrijke rol spelen. Nieuwe toepassingen van quantum- en nanotechnologie kunnen en zullen de samenleving ingrijpend veranderen.

Nanotechnologie heeft al technologische hoogstandjes mogelijk gemaakt. Denk aan de processoren in smartphones, waarin de kleinste stroomdraadjes slechts enkele tientallen atomen breed zijn. De wetten van de quantummechanica worden op deze schaal steeds belangrijker, met vreemde eigenschappen tot gevolg: atomaire deeltjes kunnen interacties met elkaar hebben op grote afstanden, geteleporteerd worden, tegelijk linksom en rechtsom draaien en op meerdere plaatsen tegelijk zijn.

Onze beheersing op de nanoschaal is inmiddels zo vergevorderd dat we quantumverschijnselen in experimenten kunnen testen en toepassen. In de komende decennia komt de quantum/nanotechnologie in een nieuwe, revolutionaire fase. Dit zal leiden tot veranderingen op het gebied van ICT en softwareontwikkeling, materialen voor energie, medische diagnostiek, sensoren en nog veel meer.

Soms zal de technologie zó radicaal nieuw zijn dat we alle mogelijke toepassingen nu nog niet kunnen bedenken. Een voorbeeld hiervan is de quantumcomputer, met een zo grote rekenkracht dat problemen die nu nog onoplosbaar lijken aangepakt kunnen worden. Bovendien zal traditionele technologie tegen grenzen aanlopen. In de nano-elektronica bijvoorbeeld, zal de toonaangevende Wet van Moore, die beschrijft hoe elke twee jaar het aantal transistoren op een chip verdubbelt, tot een halt komen. Als je structuren kleiner en kleiner maakt, zullen niet alleen quantumverschijnselen maar ook de temperatuurhuishouding beperkende factoren worden. Het ontwikkelen van manieren om met minder energieverlies – en dus minder vrijkomende warmte – te rekenen is daarom essentieel. Omdat quantum/nanotechnologie zo'n grote impact op onze samenleving kan krijgen, zal dit vakgebied steeds vaker de verbinding moeten zoeken met toepassingsgebieden in industriële sectoren en gedrags-, maatschappij-, en gezondheidswetenschappen.

Nederland heeft een uitstekende uitgangspunt op wereldschaal verschil te maken in deze revolutie. Het Nederlandse onderzoek op het gebied van quantum ICT en nanotechnologie, inclusief nanobiofysica, nanomaterialen, nanofotonica en *nanomedicine*, behoort tot de wereldtop. Deze positie heeft Nederland verworven door in een vroeg stadium te investeren in grote publiek-private samenwerkingsprogramma's wat heeft geleid tot een groot wetenschappelijk netwerk dat uitstekende banden onderhoudt met de industrie.

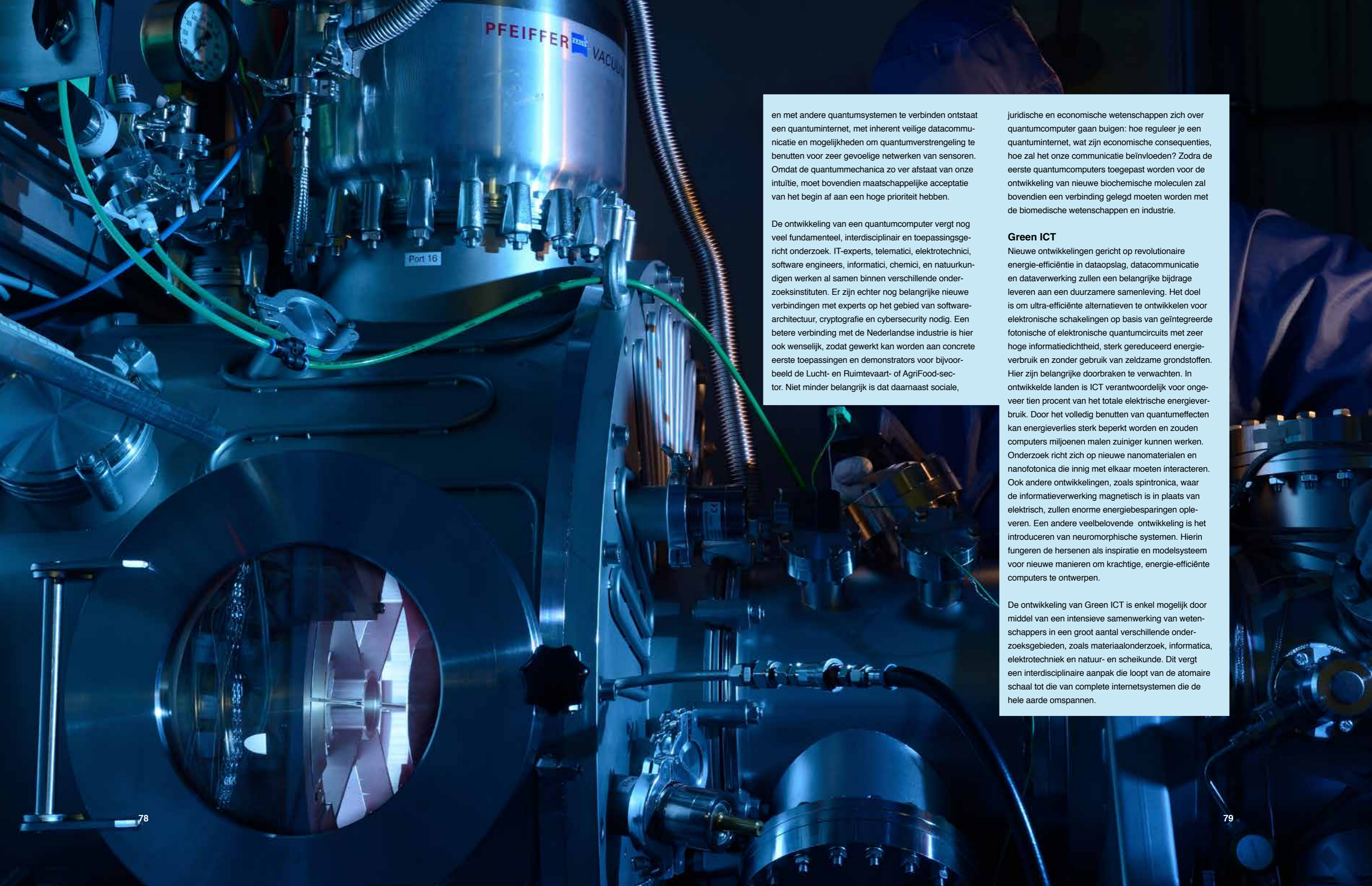
Drie gamechangers kunnen doorbraken realiseren, indien vakgebieden en industriële sectoren die nu nog onvoldoende samenwerken gezamenlijk een uitdaging aangaan:

Quantumcomputing en het quantuminternet

Quantumcomputing geeft toegang tot ongekende rekenkrachten om de eigenschappen van materialen, chemische processen en geneesmiddelen te voorspellen en te verbeteren. Min of meer per ongeluk hebben we de temperatuur van supergeleiders eind vorige eeuw honderd graden kunnen verhogen, maar we zitten nog steeds tweehonderd graden onder kamertemperatuur. Een quantumcomputer zou het toeval uit zo'n zoektocht kunnen halen door uit te rekenen welke materialen we moeten samenbrengen om supergeleiding bij kamertemperatuur mogelijk te maken. Relatief eenvoudige quantumcomputers kunnen al binnen tien jaar gebruikt worden om de gewenste samenstelling van kleinere moleculen te kunnen berekenen, ten dienste van bijvoorbeeld milieuvriendelijkere kunstmest of kunstmatige fotosynthese.

Op weg naar de quantumcomputer moeten we veel nieuwe technologieën ontwikkelen. Denk aan quantumsensoren met een revolutionaire gevoeligheid, quantumalgoritmes en -software en oplossingen voor veilige datacommunicatie. Door quantumcomputers met elkaar





en met andere quantumsystemen te verbinden ontstaat een quantuminternet, met inherent veilige datacommunicatie en mogelijkheden om quantumverstrengeling te benutten voor zeer gevoelige netwerken van sensoren. Omdat de quantummechanica zo ver afstaat van onze intuïtie, moet bovendien maatschappelijke acceptatie van het begin af aan een hoge prioriteit hebben.

De ontwikkeling van een quantumcomputer vergt nog veel fundamenteel, interdisciplinair en toepassingsgericht onderzoek. IT-experts, telematici, elektrotechnici, software engineers, informatici, chemici, en natuurkundigen werken al samen binnen verschillende onderzoeksinstituten. Er zijn echter nog belangrijke nieuwe verbindingen met experts op het gebied van software-architectuur, cryptografie en cybersecurity nodig. Een betere verbinding met de Nederlandse industrie is hier ook wenselijk, zodat gewerkt kan worden aan concrete eerste toepassingen en demonstrators voor bijvoorbeeld de Lucht- en Ruimtevaart- of AgriFood-sector. Niet minder belangrijk is dat daarnaast sociale,

juridische en economische wetenschappen zich over quantumcomputer gaan buigen: hoe reguleer je een quantuminternet, wat zijn economische consequenties, hoe zal het onze communicatie beïnvloeden? Zodra de eerste quantumcomputers toegepast worden voor de ontwikkeling van nieuwe biochemische moleculen zal bovendien een verbinding gelegd moeten worden met de biomedische wetenschappen en industrie.

Green ICT

Nieuwe ontwikkelingen gericht op revolutionaire energie-efficiëntie in dataopslag, datacommunicatie en dataverwerking zullen een belangrijke bijdrage leveren aan een duurzamere samenleving. Het doel is om ultra-efficiënte alternatieven te ontwikkelen voor elektronische schakelingen op basis van geïntegreerde fotonische of elektronische quantumcircuits met zeer hoge informatiedichtheid, sterk gereduceerd energieverbruik en zonder gebruik van zeldzame grondstoffen. Hier zijn belangrijke doorbraken te verwachten. In ontwikkelde landen is ICT verantwoordelijk voor ongeveer tien procent van het totale elektrische energieverbruik. Door het volledig benutten van quantumeffecten kan energieverlies sterk beperkt worden en zouden computers miljoenen malen zuiniger kunnen werken. Onderzoek richt zich op nieuwe nanomaterialen en nanofotonica die innig met elkaar moeten interacteren. Ook andere ontwikkelingen, zoals spintronica, waar de informatieverwerking magnetisch is in plaats van elektrisch, zullen enorme energiebesparingen opleveren. Een andere veelbelovende ontwikkeling is het introduceren van neuromorfische systemen. Hierin fungeren de hersenen als inspiratie en modelsysteem voor nieuwe manieren om krachtige, energie-efficiënte computers te ontwerpen.

De ontwikkeling van Green ICT is enkel mogelijk door middel van een intensieve samenwerking van wetenschappers in een groot aantal verschillende onderzoeksgebieden, zoals materiaalonderzoek, informatica, elektrotechniek en natuur- en scheikunde. Dit vergt een interdisciplinaire aanpak die loopt van de atomaire schaal tot die van complete internetsystemen die de hele aarde omspannen.

Nanomedicine: nieuwe toepassingen binnen de geneeskunde

Nanomedicine zal een revolutie veroorzaken voor onze gezondheid en welzijn, met ongekende mogelijkheden op het gebied van de diagnose en bestrijding van ziekten. Voorbeelden van toepassingen zijn nanopincetten waarmee we enkele biomoleculen kunnen vastpakken, bestuderen en manipuleren en injecteerbare en implanterbare nanosensoren die ziektes in een zeer vroeg stadium kunnen detecteren en lokaliseren. Juist omdat ziektes veelal ontstaan door defecten op moleculair niveau kan nanotechnologie een belangrijke bijdrage leveren aan ons begrip hoe ziektes ontstaan.

Maar ook voor diagnose, behandeling en bestrijding van ziektes is kennis op het niveau van nanometers essentieel. Zo lopen er klinische trials met kunstmatig ontworpen DNA-origamidoosjes die autonoom hun doel vinden in het lichaam en daar aangekomen spontaan openen en een ingesloten medicijn vrijlaten. Naast dit soort nanotherapie worden grote sprongen gemaakt met de ontwikkeling van slimme biomaterialen die het immuunsysteem aansporen om in het hele lichaam kankercellen te vernietigen, zoals nanostructuren ontworpen van zelfassemblerende eiwitten.

Geïmplanteerde minuscule chips en injecteerbare nanorobots zouden belangrijke biologische markers in ons bloed kunnen monitoren en zodoende in een vroeg stadium ziektes kunnen detecteren. Deze robots zouden daarnaast ons afweersysteem kunnen helpen bij het vechten tegen bacteriën of kankervormende cellen. In deze context is ook het gebruik van biologische nanostructuren, zoals virussen en DNA-complexen, interessant om interacties tussen cellen en ziekmakers te begrijpen of juist om deze biologische nanostructuren toe te passen in bovengenoemde therapie en diagnostiek.

Nanomedicine is al een zeer multidisciplinair vakgebied waarin biochemici, chemici, biologen, natuurkundigen, en wiskundigen sterk met elkaar verbonden zijn. Toch zijn meer nieuwe verbindingen nodig om de impact van bionanotechnologie voor ons begrip van ziekten en de diagnose en bestrijding daarvan te verbeteren: een belangrijke nieuwe verbinding is die tussen de bionanotechnologie en de biomedische en farmaceutische wetenschappen. De relatie met risicoanalyse en technology assessment is tevens essentieel.

Coherentie tussen gamechangers

De drie voorgestelde gamechangers vinden hun oorsprong in de ontwikkeling die nanotechnologie heeft doorgemaakt. De coherentie ligt dan ook in de (on)mogelijkheden van het realiseren en manipuleren van nanostructuren en nano-objecten. Geen quantumcomputer zonder nieuwe ontwikkelingen in de functionele materialen. De quantumcomputer zal op zijn beurt leiden tot de ontdekking van nieuwe functionele materialen. Bionanomaterialen zullen geïntegreerd worden in nanosensoren, die big data zullen opleveren. En die hebben op hun beurt baat bij een quantuminternet. Nanofotonica en spintronica zorgen voor revolutionaire energie-efficiëntie dataopslag en dataverwerking en leveren daarmee een belangrijke bijdrage leveren aan een duurzamere samenleving. Daarnaast gaat nanofotonica een belangrijke rol spelen in veilig dataverkeer, en zal dit vakgebied zorgen voor efficiëntere lichtbronnen, zonnepanelen en de productie van zonnebrandstoffen. Een zeer essentiële schakel tussen idee en realisatie is de te ontwikkelen apparatuur, een absolute sterkte van Nederland.

Specifiek ontworpen bionanomaterialen voor diagnostiek en behandeling, op maat gemaakt voor de individuele patiënt, zullen voor een omslag zorgen in gezond ouder worden. Nieuwe generaties supergevoelige, energiezuinige en minuscule (bio)nanosensoren zullen overal geïntegreerd worden en zo de basis vormen van slimme steden, slimme geneeskunde en het *Internet of Things*.

Onmisbaar voor deze ontwikkelingen is de gezamenlijk gerealiseerde infrastructuur binnen Nederland, zoals NanoLabNL. In vorige onderzoeksprogramma's is bovendien veel ervaring opgedaan met de introductie van technology assessment binnen het onderzoek en daaruit gecreëerde commercialisatie. Samen zorgen deze erfenissen uit het verleden voor een solide basis om werkelijke veranderingen in de wetenschap te realiseren en nieuwe toepassingen te implementeren die bijdragen aan de grote maatschappelijke opgaven en het toekomstig verdienvermogen.

Regeneratieve geneeskunde: gamechanger op weg naar brede toepassing

Regeneratieve geneeskunde biedt chronisch zieken uitzicht op genezing, in plaats van (dure) symptoombestrijding. Het betekent dat zieke weefsels en organen hersteld kunnen worden, zodat er geen transplantatie meer nodig is. Medicijnen kunnen getest worden op organs-on-chip, zonder dierproeven en zo nodig op maat voor de patiënt. Nieuwe verbindingen tussen hersenen en elektronica zijn in de maak, bijvoorbeeld in bionische ledematen. Een fascinerend toekomstbeeld dus, waarbij regeneratieve geneeskunde enorme kansen biedt voor gezondheidszorg én economie.

Onze (beroeps)bevolking veroudert, waardoor het een uitdaging kan zijn om mee te blijven doen en vitaal te functioneren. Weefsels en organen gaan immers bij iedereen achteruit, maar soms nog sneller door ziekteprocessen zoals artrose, hart- en vaatziekten, diabetes of neurodegeneratieve aandoeningen. Gelukkig is er steeds meer bekend over natuurlijk weefselherstel, én zijn er steeds meer biologische en technische mogelijkheden om weefsels en organen te repareren. Interdisciplinair onderzoek op het gebied van regeneratieve geneeskunde is gebaseerd op de groeiende kennis van onder andere stamcellen, groeifactoren, weefselarchitectuur, biomaterialen en verfijnde meettechnieken. Dankzij eerdere programmatische investeringen in grootschalige samenwerkingsverbanden is er binnen Nederland een enorm valorisatiepotentieel opgebouwd. Nog maar weinig patiënten hebben echter daadwerkelijk kunnen profiteren van concrete therapieën.

De belangrijkste gamechanger

Regeneratieve geneeskunde is op zichzelf een van de meest ingrijpende gamechangers in de geneeskunde, al zijn er nog wel inspanningen nodig om de beloften ervan in te lossen.

Vertaalslag naar praktijk

De tijd is nu rijp om deze basis verder uit te bouwen en de vertaalslag te maken naar brede toepassing in de praktijk. Nu al is regeneratieve geneeskunde een miljardenindustrie en er wordt nog veel meer groei verwacht. De Nederlandse economie kan hiervan ruim meeprofiten. Dat vraagt wel om voortgaande investering in publiek-private samenwerking om de roemruchte Valley of Death – de periode tussen een *proof of principle* en het op grote schaal, duurzaam fabriceren van het uiteindelijke product – te overbruggen. Deze periode is voor iedere innovatie een moeilijk punt, maar voor de ontwikkeling van *Advanced Medicinal Therapeutic Products (ATMPs)*, zoals de behandelingen die voortkomen uit de regeneratieve geneeskunde genoemd worden, des te meer. De vertaling van laboratoriumprotocollen naar producten voor menselijk gebruik is nieuw, ingewikkeld, risicovol en duur. Daarbij komt dat de implementatie van dergelijke cel- en gentherapieën vaak veel maatschappelijke discussies oproept. Om de beloften van de regeneratieve geneeskunde waar te kunnen maken zijn een goede infrastructuur, een specialistische en interdisciplinaire workforce en aandacht voor de maatschappelijke context essentieel.

Infrastructuur

Er zijn in de afgelopen jaren grote stappen gezet in het bouwen van een infrastructuur. Het meest groot-schalige voorbeeld is de realisatie van een landelijke Pilotfabriek voor regeneratieve geneeskunde. In totaal heeft het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EKZ) €56 miljoen in dit project geïnvesteerd. Deze fabriek kan bedrijven en onderzoeksinstellingen ondersteunen bij het ontwikkelen en valoriseren van nieuwe ATMPs, productietechnologie en productie-diensten. Hoewel met de bouw van de verschillende locaties al een grote stap gezet is, blijft het belangrijk om te investeren en ervoor te waken dat deze fabriek nationaal inzetbaar is om betaalbare therapieën naar de markt te brengen.

Investeren in opleiding en talent

In de regeneratieve geneeskunde werken momenteel verschillende disciplines – zoals elektrofysica, bio-elektronica en geneeskunde – binnen hun eigen vakgebied aan oplossingen voor nieuwe weefsels en organen. Voor de toekomst is echter behoefte aan wetenschappers die deskundig zijn op het raakvlak van technologie en geneeskunde, maar ook op de raakvlakken met onderzoeksgebieden als economie, rechten, medische ethiek en sociologie. Vanwege de

grote impact van dit veld zijn er ook onderzoekers nodig die vraagstukken kunnen beantwoorden op de grensgebieden tussen de (bio)medisch/technische ontwikkelingen en deze onderzoeksdisciplines gericht op de maatschappelijke context.

Als laatste zijn de ontwikkeling, productie en implementatie van ATMPs significant anders dan bij 'traditionele' medicijnen. Er zijn dus mensen nodig met specialistische kennis over bijvoorbeeld kwaliteitscontroles en productie-eisen. Gerichte carrièrestimuleringsprogramma's op al deze gebieden zou de impact van het veld kunnen vergroten.

Maatschappelijk Verantwoord Innoveren (MVI): de bredere context

Voor brede toepassing is het belangrijk het publiek goed te informeren en te betrekken in een dialoog over de sociale, juridische en ethische consequenties van regeneratieve geneeskunde. Zo'n open debat kan ertoe bijdragen dat toepassingen daadwerkelijk aansluiten bij de behoeften van Nederlanders en op brede acceptatie kunnen rekenen. Het is verder noodzakelijk om deze nieuwe zorgproducten te ontwikkelen op een duurzame en rendabele manier,

om bij te dragen aan het beheersbaar houden van de kosten van de gezondheidszorg. Naast de financiële ondersteuning van duurzame samenwerkingsverbanden, zijn overheidsinvesteringen in een aantrekkelijk vestigingsklimaat voor bedrijven gericht op regeneratieve geneeskunde van groot belang. Thematische Regeneratieve Geneeskunde *Technology Transfer Offices* (TTOs) zijn nodig om specifieke kennis ten aanzien van intellectueel eigendom, marktautorisatie en productieprocessen van deze nieuwe industrie op te bouwen en te verspreiden. Deze thematische TTOs moeten onderzoekers in een vroeg stadium begeleiden. Zo kunnen ze tijdig informatie krijgen over de implementatie van hun kennis en marktconform handelen, om de kans op gebruik en commercialisatie van de kennis te verhogen.

Impact

Ziektes waarvoor op dit moment curatieve behandelingen ontwikkeld worden op basis van regeneratieve geneeskunde, kosten Nederland in 2019 minstens 14,2 miljard euro (kosten van ziektestudie, RIVM). De ziektelast door sterfte en door het leven met deze ziektes bedraagt jaarlijks 1,4 miljoen DALYs (Disability-Adjusted Life Years). Een relatief kleine investering in regeneratief onderzoek kan zich daarom makkelijk

vertalen in een grote impact in Nederland. Voor het merendeel van deze aandoeningen worden al regeneratieve therapieën ontwikkeld.

Innovatie van gezondheidszorg is nodig om Nederlanders te laten beschikken over de beste en meest actuele therapieën, wat de welvaart en kwaliteit van leven ten goede komt. Daarnaast is herhaaldelijk aangetoond dat innovatie tot besparing in de gezondheidszorg kan leiden: elke investering van 1 euro in het verbeteren van de doelmatigheid levert een jaarlijkse structurele besparing op van 3 euro. Hier ligt naast een belang voor de overheid ook een belang voor de zorgverzekeraars.

Nationale onderzoeksagenda

Door een gemeenschappelijke onderzoeksagenda te stimuleren kunnen programmeringen (van overheid, gezondheidsfondsen, topsectoren enzovoort) synergetisch bijdragen aan de regeneratieve geneeskunde. In dit opzicht zijn zowel hDMT als RegMed XB interessante initiatieven, omdat kritische massa rondom inhoudelijke onderzoeksthema's ontstaat door integratie van multidisciplinaire kennis en expertise. Tegelijkertijd wordt ook gemeenschappelijk gebruik gemaakt van kostbare infrastructuur zoals die van de Pilotfabriek of microfluidicaproductie. Deze initiatieven

brengen een groot deel van het veld bij elkaar, maar omvatten nog niet alle aspecten en partijen in Nederland die relevant zijn voor het veld van regeneratieve geneeskunde. Op dit moment wordt er binnen de NWA-route gewerkt aan een overkoepelende agenda om een overzicht op nationaal niveau te bewerkstelligen van de mogelijkheden voor bijvoorbeeld samenwerkingen of onderwijstrajecten. Het is van belang om bestaande, grote en belangrijke netwerken zoals die van hDMT en RegMed XB hierbij te betrekken. Binnen dergelijke nationale grootschalige samenwerkingsverbanden en infrastructures ontstaat er ruimte voor het uitwerken van de randvoorwaarden om de volgende stap te kunnen maken van fundamentele concepten naar concrete toepassingen bij de patiënt. Dat biedt mogelijkheden, bijvoorbeeld door onderzoek te doen naar het genoom en nieuwe technologieën, interactie tussen biomaterialen en cellen, en te investeren in geavanceerde imaging platforms, maar ook door gezamenlijk te kijken naar vraagstukken in de maatschappelijke context en naar interdisciplinair én specialistisch onderwijs.

Investeringsbehoeften

De regeneratieve geneeskunde is een wezenlijk andere benadering van de geneeskunde waarbij het teruggeven van orgaanfunctie bij chronische ziekten centraal staat. Deze tak van de medische wetenschap

is sterk gebaat bij een internationale verankering van de wetenschap via een nationale, discipline-overschrijdende, grootschalige onderzoeksinfrastructuur voor de langere termijn. De toekomstige positie van Nederland in dit internationale veld zal vooral bepaald worden door de mogelijkheid tot aansluiting bij de nieuwe technologieën die dit veld drijven. Investeren in infrastructuur moeten aansluiten op concurrerende investeringen door buitenlandse overheden. De inzet van de NFU op dit gebied zal werken als een multiplier van deze investeringen. Daarnaast is er mogelijkheid om de huidige programmering te gebruiken om implementatie te versnellen. Matching door lokale overheden en TKI-gelden van gezondheidsfondsen maakt de ontwikkeling van gemeenschappelijke onderzoeksagenda's mogelijk.

Een extra investering nu zal er over tien jaar toe leiden dat patiënten versneld kunnen profiteren van verbeterde, innovatieve therapieën. Uiteindelijk zal dit resulteren in volledige participatie van de patiënt in de maatschappij en een reductie in symptoombestrijdende behandelingen. Deze investering zal bovendien leiden tot nieuw opgeleide talenten die Nederland aantrekkelijker maken voor de vestiging van farmaceutische en biotechnologische bedrijven, alsmede tot een aanzienlijke kostenbesparing in de zorg.

Smart industry

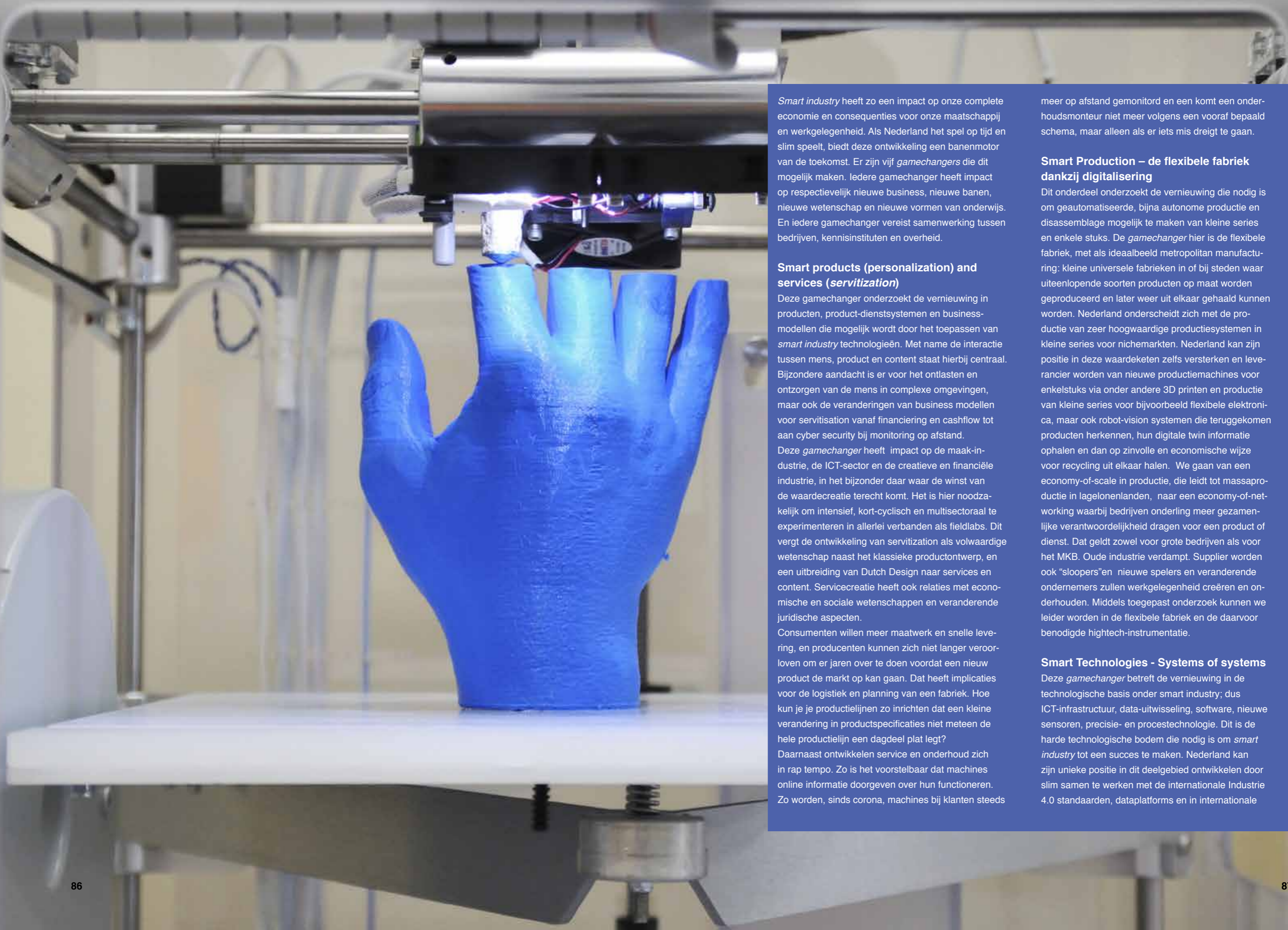
Foutloze maatwerkproducten in een oplage van één voor de prijs van een massaproduct. Nieuwe producten die van ontwerp, productie en gebruik digitaal gevolgd worden tot aan hergebruik. Productie en slimme netwerken die bij veranderingen en verstoringen in aan en afvoer keten zich autonoom aanpassen. En oplossingen om werknemers digitale vaardigheden bij te leren om middels digitale tools de productiviteit de komende twee decennia te verdubbelen. Dat zijn stippen op de horizon voor de industrie van de toekomst. Om deze ontwikkeling mogelijk te maken, zijn er acties vanuit de wetenschap nodig. We moeten intelligente producten en diensten ontwikkelen, flexibele productiesystemen ontwerpen, technologieën en leermethoden uitvinden die nodig zijn voor nieuwe producten, diensten en fabricagemethoden. Daarnaast moeten we onderzoeken welke weerslag de komst van deze zogeheten *smart industry* zal hebben op de samenleving in een tijdperk van minderde globalisering en omdraaien van de bevolkingsperiode, meer lokale productie en recycling met minder mensen.

De industrie digitaliseert en automatiseert. Door een combinatie van digitalisering, koppelingen van intelligente systemen en nieuwe technologieën wijzigen niet alleen productieprocessen in de industrie, maar uiteindelijk ook businessmodellen, beroepen en consumptiepatronen. Productie zal vanuit lagelonenlanden terug gaan keren naar Nederland. Waar het voorheen voordelig was om goedkope onderdelen uit China te halen en op te slaan, kunnen klanten nu via internet een tekening van een onderdeel uploaden, dat vervolgens bijvoorbeeld via een 3D-printer in de gewenste hoeveelheden wordt geproduceerd. Tegelijkertijd zien we de opkomst van *servitization* en *recycling*: dienstverlening als fundament onder een productiebedrijf. Klanten betalen voor gebruik van een product in plaats van voor het bezit ervan. Bedrijven die eerst voornamelijk fysieke producten fabriceerden, ontwikkelen zich tot klantspecifieke dienstleverancier. Via digitale marktplaatsen bieden zij klanten eerst en vooral een dienst, waarbij ze dan ook het bijbehorend hardware product leveren en na afloop terug nemen en bij einde van de levensduur zo goed mogelijk recyclen. Dat product maken zij niet meer zelf: hun toeleveranciers nemen een steeds groter deel van het productieproces over, maar krijgen ook een nieuwe rol als lokale, regionale dis-assemblage en recyclers voor meerdere hardware eigenaren.

Industrie 4.0

De industrie van de toekomst, in Duitsland ook wel Industrie 4.0 genoemd, wordt gekoppeld aan digitale technologieën. In Nederland spreken we over *smart industry*. Dit begrip omvat de digitalisering en via *servitization* verduurzaming van onze industrie. Met *industry* worden alle processen bedoeld die tot waardecreatie leiden. Dit is breder dan het Nederlandse begrip industrie, dat klassieke fabrieken met een schoorsteen aanduidt. Door het begrip *servitization* omvat *smart industry* ook de dienstensector, gaande van onderhoud, logistiek, productontwerp en distributie tot aan recycling, handels-, bancaire en verzekeringsdiensten. In economische termen omvat de brede definitie *smart industry* alle export en een groot deel van ons bruto nationaal product.

Smart industry optimaliseert de productie met inzet van ICT. Slimme machines en robots communiceren onderling met elkaar, sporen zelf fouten op en herstellen die fouten. Om die processen in goede banen te leiden, is krachtige software continu bezig om enorme hoeveelheden gegevens vanuit sensoren en klantwensen automatisch te combineren, analyseren en interpreteren. Het gevolg is dat industrieën veel efficiënter draaien. De processen worden sneller, duurzamer en goedkoper.



Smart industry heeft zo een impact op onze complete economie en consequenties voor onze maatschappij en werkgelegenheid. Als Nederland het spel op tijd en slim speelt, biedt deze ontwikkeling een banenmotor van de toekomst. Er zijn vijf *gamechangers* die dit mogelijk maken. Iedere *gamechanger* heeft impact op respectievelijk nieuwe business, nieuwe banen, nieuwe wetenschap en nieuwe vormen van onderwijs. En iedere *gamechanger* vereist samenwerking tussen bedrijven, kennisinstituten en overheid.

Smart products (personalization) and services (servitization)

Deze *gamechanger* onderzoekt de vernieuwing in producten, product-dienstsystemen en business-modellen die mogelijk wordt door het toepassen van *smart industry* technologieën. Met name de interactie tussen mens, product en content staat hierbij centraal. Bijzondere aandacht is er voor het ontlasten en ontzorgen van de mens in complexe omgevingen, maar ook de veranderingen van business modellen voor servitisation vanaf financiering en cashflow tot aan cyber security bij monitoring op afstand. Deze *gamechanger* heeft impact op de maak-industrie, de ICT-sector en de creatieve en financiële industrie, in het bijzonder daar waar de winst van de waardecreatie terecht komt. Het is hier noodzakelijk om intensief, kort-cyclisch en multisectoraal te experimenteren in allerlei verbanden als fieldlabs. Dit vergt de ontwikkeling van servitization als volwaardige wetenschap naast het klassieke productontwerp, en een uitbreiding van Dutch Design naar services en content. Servicecreatie heeft ook relaties met economische en sociale wetenschappen en veranderende juridische aspecten. Consumenten willen meer maatwerk en snelle levering, en producenten kunnen zich niet langer veroorloven om er jaren over te doen voordat een nieuw product de markt op kan gaan. Dat heeft implicaties voor de logistiek en planning van een fabriek. Hoe kun je je productielijnen zo inrichten dat een kleine verandering in productspecificaties niet meteen de hele productielijn een dagdeel plat legt? Daarnaast ontwikkelen service en onderhoud zich in rap tempo. Zo is het voorstelbaar dat machines online informatie doorgeven over hun functioneren. Zo worden, sinds corona, machines bij klanten steeds

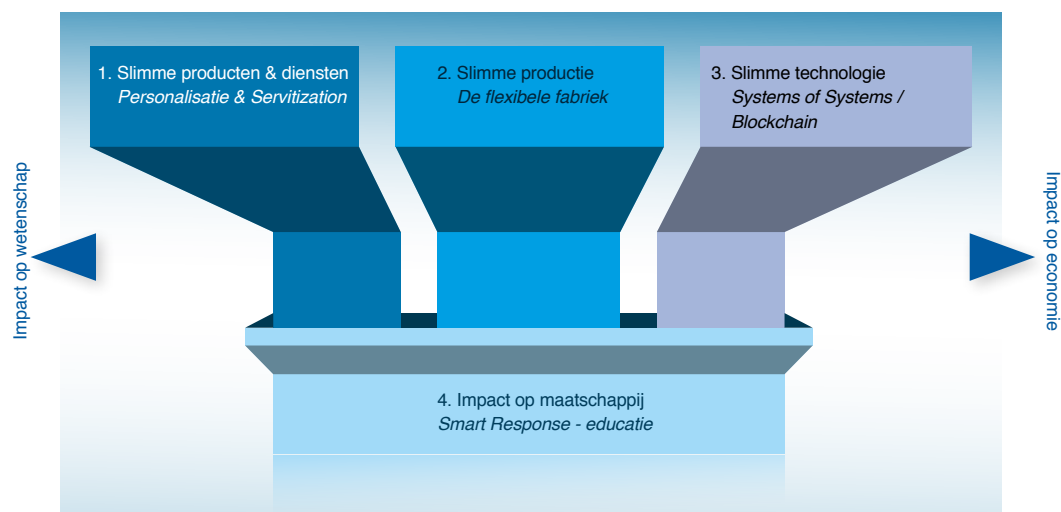
meer op afstand gemonitord en een komt een onderhoudsmonteur niet meer volgens een vooraf bepaald schema, maar alleen als er iets mis dreigt te gaan.

Smart Production – de flexibele fabriek dankzij digitalisering

Dit onderdeel onderzoekt de vernieuwing die nodig is om geautomatiseerde, bijna autonome productie en disassemblage mogelijk te maken van kleine series en enkele stuks. De *gamechanger* hier is de flexibele fabriek, met als ideaalbeeld metropolitan manufacturing: kleine universele fabrieken in of bij steden waar uiteenlopende soorten producten op maat worden geproduceerd en later weer uit elkaar gehaald kunnen worden. Nederland onderscheidt zich met de productie van zeer hoogwaardige productiesystemen in kleine series voor nichemarkten. Nederland kan zijn positie in deze waardeketen zelfs versterken en leverancier worden van nieuwe productiemachines voor enkelstuks via onder andere 3D printen en productie van kleine series voor bijvoorbeeld flexibele elektronica, maar ook robot-vision systemen die teruggekomen producten herkennen, hun digitale twin informatie ophalen en dan op zinvolle en economische wijze voor recycling uit elkaar halen. We gaan van een economy-of-scale in productie, die leidt tot massaproductie in lagelonenlanden, naar een economy-of-networking waarbij bedrijven onderling meer gezamenlijke verantwoordelijkheid dragen voor een product of dienst. Dat geldt zowel voor grote bedrijven als voor het MKB. Oude industrie verdamp. Supplier worden ook "sloopers" en nieuwe spelers en veranderende ondernemers zullen werkgelegenheid creëren en onderhouden. Middels toegepast onderzoek kunnen we leider worden in de flexibele fabriek en de daarvoor benodigde hightech-instrumentatie.

Smart Technologies - Systems of systems

Deze *gamechanger* betreft de vernieuwing in de technologische basis onder smart industry; dus ICT-infrastructuur, data-uitwisseling, software, nieuwe sensoren, precisie- en procestechnologie. Dit is de harde technologische bodem die nodig is om *smart industry* tot een succes te maken. Nederland kan zijn unieke positie in dit deelgebied ontwikkelen door slim samen te werken met de internationale Industrie 4.0 standaarden, dataplatforms en in internationale



waardeketens. De internationale component is hier extra belangrijk. Deze *gamechanger* kent meerdere wetenschappelijke uitdagingen en is een enabler voor latere economische impact. Het vergt internationale netwerken en nationale keuzes waar we top in willen zijn. De implicaties en implementatie van het Internet-of-Things – de onderlinge verbondenheid van allerlei soorten hardware en software via een netwerk – van gedistribueerde database alsmede digitale twins, zogenaamde digitale (standaard) stekkers en app bibliotheken maar ook de toepassing van betere ICT middelen als low-code voor applicaties en voor systemen een veiliger computertaal Rust voor software onderhoud over langere termijn zijn belangrijke onderzoeksonderwerpen. Wetenschappelijke onderwerpen waarin we daarnaast als Nederland een goede positie moeten blijven behouden naast complexe software en embedded systems zijn en blijven ook mechatronica, precisietechnologie en materiaalmodellering en -simulatie van belang.

Smart Skills - Impact op smart jobs & skills

Deze *gamechanger* betreft de maatschappelijke impact van de versnelling van de digitalisering en omgaan met en anticiperen hierop als individu. Smart educatie en in het bijzonder levenlang leren is het hoofdaspect van deze *gamechanger*. Hoe zorgen wij dat leven lang leren bij mensen met een laag en middelbaar onderwijs, maar ook hoger opgeleiden een succes wordt? Hoe verhogen wij de digitale vaardigheden van alle Nederlanders, maar ook wat voor nieuwe banen in aantal en vereiste (nieuwe) vaardigheden komen er? En hoe verandert ons initieel en leven-lang-lerenonderwijs?

Vakmensen in de maakindustrie zullen door de voortschrijdende automatisering een andere rol krijgen. Zij zullen vaker een scherm moeten bekijken om te kunnen beoordelen hoe een machine ervoor staat. Robots die het oorspronkelijke handwerk overnemen, moeten onder toezicht staan van ervaren vakmensen. Dat betekent voor veel van deze mensen dat er goede omscholing nodig is.

Smart Reponse - Maatschappelijke impact

Deze *gamechanger* betreft de maatschappelijke impact van de versnelling van de digitalisering in een breed perspectief en het slim en veilig omgaan met en anticiperen hierop als maatschappij. Hoe zorgen we dat ook de productiviteit bij kleine bedrijven wordt vergroot wanneer er minder werkende zijn en de productiviteit moet worden verhoogd. Kunnen we met betere gereedschappen, tegenwoordig allemaal digitaal productiever te werken?

Naast duiding van deze maatschappelijke effecten, zal aandacht moeten worden besteed aan de vraag op welke gebieden Nederland zijn unieke posities kan ontwikkelen en hoe deze ambities zouden kunnen worden gerealiseerd.

Tot slot vereist de nieuwe manier van werken kennis op het gebied van *cybersecurity*. Hoe meer sensoren, machines en fabrieken onderling verbonden zijn via internet, des meer mogelijkheden zijn er voor hackers om in te grijpen in productieprocessen. Hoe kunnen we robuustheid, zekerheid en veiligheid en zelfs soms redundante in productie, zelf onder externe dreigingen, verbeteren?

Smart, liveable cities

Steden worden steeds belangrijker en het aantal inwoners en mensen afhankelijk van de stad blijft toenemen. Bij uitstek zijn steden de plek waar belangrijke maatschappelijke, ecologische en digitale uitdagingen zich manifesteren. Tal van urgente, onderling afhankelijke, vraagstukken zoals de klimaatcrisis, de energietransitie en de woningmarkt zetten de stedelijke leefbaarheid onder druk. De NWA route Smart Liveable Cities onderzoekt hoe de stad, buiten stedelijke- en plattelandsgebieden toekomstbestendig gemaakt kunnen worden om deze uitdagingen het hoofd te bieden. Dit vraagt om een multidimensionale benadering, nieuwe samenwerkingsvormen, en verbeeldings- en innovatiekracht – om een stad te ontwerpen die digitaal veilig, sociaal en ecologisch gezond, en veerkrachtig en flexibel is.

Het toekomstbestendig maken van steden en hun buitengebieden vereist systemische verandering gebaseerd op publieke waarden. Dat kan alleen in nauwe samenwerking met de samenleving. We moeten op zoek naar hoe we inwoners, maatschappelijke initiatieven en collectieven een grotere rol geven in onderzoek, ontwerpen en beslissen over de stad. Daarvoor zijn nieuwe samenwerkingsverbanden tussen bewoners, wetenschap, overheid en bedrijven nodig. Het benutten van digitalisering biedt kansen voor het verbeteren van bestuur en burgerschap, het stedelijk ecosysteem en co-creatief ontwerpen van de stedelijke infrastructuur.

Drie gamechangers

Smart, liveable cities zetten technologie in om veiligheid, gezondheid en veerkracht te waarborgen, in steden die door de klimaatcrisis en digitalisering voor complexe uitdagingen gesteld staan. Ze werken daarbij multidisciplinair, samen met hun bewoners, en verkennen nieuwe perspectieven, samenwerkingsverbanden en paradigma's. Drie gamechangers zijn geformuleerd die richting geven aan het onderzoek voor stedelijke en digitale ontwikkelingen.

Data commons

We onderzoeken hoe we digitalisering ten goede laten komen aan de leefbaarheid, economie, gezondheid en veiligheid van de samenleving. Welke democratische waarden zijn in het geding in de digitale stad en hoe zorgen we dat inwoners daar grip op krijgen? Hoe moeten we data en informatie organiseren om gedeeld eigenaarschap te creëren (data commons)? En welke maatschappelijke, ethische en juridische vraagstukken levert dat op? Hoe zorgen we voor transparantie en betrouwbaarheid van data, tools en algoritmes en hoe betrekken we bewoners daarbij?

We onderscheiden twee urgente vraagstukken. Als eerste ligt er een grote verantwoordelijkheid ten aanzien van cyberveiligheid, cybercrime, terrorisme, desinformatie, hacken en spam. Vanuit bestuur en samenleving ontstaat een steeds grotere vraag naar informatie, onder andere ten behoeve van onze veiligheid. Maar ook commerciële partijen zamelen meer en meer informatie in. Daarmee wordt privacy het tweede belangrijke vraagstuk. Dit omvat het waarborgen van privacy in het algemeen, en meer specifiek het definiëren en kunnen stellen van een ondergrens aan

An aerial photograph of a modern city skyline, likely Rotterdam, featuring a river, a bridge, and several tall buildings. The image is used as a background for the text on the left side of the page.

privacy verankerd in beleid, zodat burgers beschermd zijn. Kunnen we de weerbaarheid van burgers vergroten door datageletterdheid en digitaal burgerschap te vergroten?

Citizen Empowerment

Huidige technologische en maatschappelijke trends hebben verstrekkende gevolgen voor (de rol van burgers in) steden. De rol van maatschappelijk initiatief ten opzichte van overheidsinstellingen en bedrijfsleven verandert. Tegelijkertijd is juist het vertrouwen tussen bewoners, overheid en wetenschap onder druk komen te staan en raakt de samenleving meer gepolariseerd. Om te zorgen dat bewoners zeggenschap en eigenaarschap hebben over het beleid dat hen treft, is dialoog en gezamenlijke ontwikkeling van alternatieve toekomsten nodig. Er is behoefte aan praktische toepassingen die handelingsperspectief bieden, die de democratie versterken en die duurzaam en inclusief zijn. Hoe kunnen inwoners en lokale partijen zeggenschap houden over een digitaliserende en dataficerende samenleving?

Digitalisering en technologische ontwikkelingen bieden ook nieuwe mogelijkheden voor zelfsturing, netwerkinitiatieven en participatie in besluitvorming. Wat is het effect van nieuwe technologische ontwikkelingen, decentralisatie en burgerparticipatie op de samenleving? En hoe zorgen we dat nieuwe vormen van communicatie en samenwerking niet leiden tot uitsluiting van mensen die deze nieuwe routes niet kennen?

De dynamiek van de stad wordt in belangrijke mate bepaald door organische processen, zoals zelforganisatie op wijkniveau. Deze vormen van organisatie

sluiten in veel gevallen slecht aan bij bestaande regelgeving en de tijdschalen waarmee overheden werken. Nieuwe samenwerkingsvormen zijn nodig voor bewoners, overheid, wetenschap en bedrijfsleven. Hoe moet maatschappelijk initiatief zichzelf ontwikkelen en welke digitale instrumenten kunnen deze zelforganisatie ondersteunen? En anderzijds: hoe moet de overheid zich organiseren om ruimte te bieden aan maatschappelijk initiatief?

Resilient design

De stad moet aansluiten bij een diversiteit aan behoeften van bewoners, en kunnen anticiperen op maatschappelijke veranderingen en technische ontwikkelingen. Veel maatschappelijke vraagstukken en uitdagingen hebben impact op de stedelijke omgeving: groei, vergrijzing, nieuwe industrieën, de energietransitie, klimaatadaptatie, veranderende mobiliteit, datacommunicatie en digitalisering van de gebouwde omgeving. Om in te spelen op deze ontwikkelingen en trends, zijn nieuwe oplossingen en technologieën nodig die kunnen worden ingepast in de schaarse ruimte van de gebouwde omgeving zoals modulaire bouw en innovatie in energie- en watersystemen.

Een slimme, leefbare stad is een stad waarin de gebouwde omgeving op flexibele wijze uiteenlopende en voortdurende veranderende activiteiten en interacties faciliteert. Het is een stad met openbare ruimte die een belangrijke sociale functie vervult. De toekomstige stad vereist veerkracht, flexibiliteit, verbeterde

en snellere ontwerpprocessen, terwijl ze bestaande kwaliteiten en cultureel erfgoed weet te bewaren. De stad dient fysiek zo ingericht te zijn dat nieuwe functies kunnen worden geabsorbeerd, bestaande functies eenvoudig kunnen veranderen en grote verstoringen in processen opgevangen kunnen worden. We noemen dit resilience engineering. Onderzoek is nodig naar nieuwe ruimtelijke ontwerp- en planningsconcepten, ingrepen en onderhoud zonder overlast voor bewoners. Zo kunnen de processen in de slimme, fysieke stad optimaal plaatsvinden binnen schaarse ruimte, met intensiever en multifunctioneel gebruik.

Aanpak

Vernieuwing, creativiteit en een ondogmatische houding ten aanzien van nieuwe onderzoeksmethoden zijn zowel vereisten voor het onderzoek op het gebied van smart, liveable cities, als een breed erkende kwaliteit van de Nederlandse onderzoekscultuur. Deze route vergt zowel alfa-, bèta/technisch- als gammaonderzoek, veelal in nauwe en gecoördineerde afstemming en samenwerking. Nieuwe samenwerkingsvormen zijn nodig waar maatschappij en wetenschap gezamenlijk onderzoeken, experimenteren en innoveren. De route daagt uit tot de ontwikkeling van nieuwe wetenschappelijke onderzoeksmethoden: van participierend actie-onderzoek en sensor-gebaseerd dataonderzoek, tot living labs, en citizen science. Key Enabling Methodologies (KEMs) bieden in het bijzonder kansen om op nieuwe manieren invulling te geven aan dit onderzoek.

Sport en Bewegen - Science Opens up to Society

De Watertoren - als collectief van universiteiten - verenigd als wetenschapsplatform geloven dat we alleen door intensief samen te werken als samenleving de moeilijkste vraagstukken echt kunnen aanpakken. Haar strategie heet dan ook "Science Opens up To Society".

In de loop van 2022-2023 voeren we drie innovatieve projecten uit en werken we zes acties verder uit onder de NWA-ondersteunende beheerstructuur. Het proces en de uitkomsten worden gekoppeld aan meerdere evenementen (een sandpit, drie Roadmap-werkgroepen, multi-stakeholder werksessies voor quadruple helix opbouw, business modeling sessies, strategische agenda afstemmingsbijeenkomsten... en ja, ook onderzoek).

Tot voor kort had de NWA-route 'Sport en Bewegen' een meer 'klassieke' oriëntatie op de wetenschap. Nu is deze verschoven naar het opstellen van 'Roadmaps Sport & Bewegen 2030'. Deze NWA-route streeft naar minder blauwdrukdenken. Er zal in grotere mate rekening worden gehouden met de situationele, multifactoriële complexiteit van echte problemen. Het hanteert een bottom-up, stakeholder-gedreven benadering, met expliciet versterkte banden met 'innovatie', 'industrie' en 'samenleving' en daarmee hun respectieve belanghebbenden.

De NWA-route is onderverdeeld in drie 'Roadmaps', meer uitleg over de inhoud van elke individuele Roadmap vindt u hieronder. In de meeste disciplines, maar zeker ook op het gebied van sport en bewegen, zijn de verschillen tussen individuen enorm. Enerzijds zijn er genetische, biofysische en psychologische verschillen, anderzijds zijn er verschillen in de fysieke en sociale leefomgeving van mensen. De verwachting is dat het individuele maatwerk waarnaar gestreefd wordt binnen de verschillende Roadmaps, zal leiden

tot een positievere beleving van sport, bewegen en training dan algemene, one-size-fits-all programma's. Recente ontwikkelingen in sensorsystemen en Kunstmatige Intelligentie (AI) maken het ook mogelijk om adequate individuele feedback te geven gericht op het bevorderen van bewegen en trainen, het verbeteren van de gezondheid en het voorkomen van onder- of overbelasting van lichaam en geest.

Vervolgens kan worden onderzocht hoe deze beweegen en trainingsprogramma's optimaal kunnen worden afgestemd op de sociale context van mensen. Dergelijke programma's zullen voor (aspirant)topsporters anders zijn dan voor kinderen in sociaaleconomisch zwakkere wijken, of voor (eenzame) ouderen in landelijke centra op het platteland. In alle gevallen wordt gewerkt met een ontwerpcyclus waarin theoretische concepten leiden tot implementatie in een bepaald vakgebied die door structurele inzet van technologie geverifieerd, gevalideerd en waar nodig aangepast kunnen worden.

In elke Roadmap zal een quadruple helix-ontwerp voor samenwerking worden geïmplementeerd. D.w.z. belanghebbenden van openbare instellingen (op het niveau van steden, regio's en lokaal, regionaal, nationaal en Europees beleid), particuliere organisaties (start-ups, kmo's, bedrijven), evenals de academische wereld (onderzoekers, universiteiten, onderzoeksorganisaties) en individuele burgers zullen worden samengebracht om de doelstellingen van de Roadmaps te bereiken. Dit houdt in dat vertegenwoordigers van elke sector in innovatieprocessen worden betrokken, waardoor resultaten worden gecreëerd waarvan alle betrokken belanghebbenden kunnen profiteren.

Roadmap 1: Moving Smarter and Better

Het toekomstperspectief van deze roadmap is dat in 2030 het (overgrote deel) van de Nederlanders niet alleen meer, maar vooral slimmer en beter gaat bewegen, zowel vanuit prestatie- als gezondheidsperspectief. I.p.v. de gebruikelijke one-fits-all methode, wordt er gezocht naar een meer persoonlijke en op maat gesneden aanpak.

Dit wordt bereikt door het versterken van de data- en wetenschappelijke ondersteuning van fysieke activiteit

in context (sport, zorg en dagelijks leven) en op het individu toegesneden door middel van effectieve toepassingen en interventies waarbij gebruik wordt gemaakt van zowel individuele als (sub)populatiegegevens. Door deze ontwikkeling worden burger(sensor)wetenschap, sensortechnologie, sportinnovaties en economische en maatschappelijke waardecreatie naar nieuwe maatstaven gebracht.

Deze Roadmap is specifiek gericht op het opsporen en stimuleren van de (zeer verschillende) individuele talenten van (toekomstige) topsporters, recreatieve sporters in verenigingen, maar ook van niet-gebonden sporters. Deze nieuw opgedane kennis en innovatie zal zich echter ook richten op risicogroepen, namelijk door een specifieke maatschappelijke spin-off te creëren.

Roadmap 2: Healthy Generation

Het toekomstperspectief van deze roadmap is dat we in 2030 een landelijk platform hebben, gebaseerd op solide en goed beschermde data, waar wetenschappers, beleidsmakers, medisch specialisten, coaches en "sporters/burgers" inzicht kunnen krijgen in hoe sport/ activiteiten kunnen worden uitgevoerd op een manier die blessures voorkomt, de gezondheid verbetert en de motivatie stimuleert. Niet alleen op korte termijn (training, prestatie en plezier) maar ook op langere termijn (effecten op gezondheid op lange termijn). We weten beter hoe we de risico's van chronische ziekten kunnen voorkomen en/of verminderen, vooral op jongere leeftijd. Hiermee streven we onder meer naar een Healthy Generation 2030 die door middel van gevalideerde modellen en data de regie over hun eigen gezondheid in 2030 kan nemen en kan waarborgen. Vanaf vandaag, als kind, en vooral het verbeteren van de vooruitzichten van hun toekomst als mondige volwassene.

Hierbij wordt niet uitgegaan van "ideale" kinderen onder "ideale" omstandigheden, maar wordt gekeken naar het samenspel tussen contextuele factoren, individueel gedrag en de biofysica van de 'individuele mens'. In deze Roadmap wordt uitgebreid gebruik gemaakt van de resultaten van bestaande, langlopende cohortstudies. Real-life settings zoals buurten zullen ook een belangrijke rol spelen in deze Roadmap.



Roadmap 3: Exercise is medicine

Het toekomstperspectief van deze roadmap is dat in 2030 alle elektronische patiëntendossiers, zowel poliklinisch als klinisch, vragen zullen bevatten over vitale functies, waaronder een vraag over de hoeveelheid dagelijkse lichamelijke activiteit, zodat lichamelijke activiteit en beweging adequaat kunnen worden voorgeschreven. In 2030 maakt DBC's ('diagnose behandel-combinatie') het voorschrijven van lichaamsbeweging en beweging mogelijk, evenals de vergoeding van dergelijke diensten als onderdeel van de reguliere zorg. Bij het ontwerpen van (nieuwe) buurten, werkplekken, scholen, ziekenhuizen, bejaardentehuizen en welke andere setting dan ook zullen opties voor dagelijkse lichaamsbeweging en beweging als standaard worden beschouwd.

Deze Roadmap is er specifiek op gericht om mensen met een risico op leefstijlgerelateerde ziekten te ondersteunen door middel van gepersonaliseerde analyse en interventie, en door hun leefstijl aan te passen om deze ziekten te voorkomen. Deze Roadmap sluit nauw aan bij de vorige Roadmap als het gaat om het ontwikkelen van contextuele interventiemodellen en sluit aan bij de eerste Roadmap als het gaat om het ontwerpen en bieden van individuele ondersteuning.

Binnen het ontwikkelen van deze drie Roadmaps voor Sport & Beweging, werkt de Route vanuit vier onderliggende ambities. Momenteel worden de vier ambities uitgevoerd in de ontwikkeling van drie Roadmaps via de Topteam-opdracht (2020), drie innovatieve projecten (NWA-innovatieprojecten en zes acties (NWA-ondersteuningsmanagement)

Ambitie 1 - Bijdragen aan oplossingen voor maatschappelijke uitdagingen om zo deze maatschappelijke problemen te helpen aanpakken. Hierbij kunnen sport, bewegen en training een belangrijke rol spelen.

Ambitie 2 - Werken met nieuwe multi-stakeholder samenwerkingsconsortia op een lokaal/regionaal niveau.

Ambitie 3 - Samenwerking tussen publiek en privaat intensiveren; industrie, MKB (sportinnovators), (data)technologiepartners, maar ook met NGO's en brancheorganisaties, zoals de GGD Nederland, NL Actief en de Vereniging van Sport en Gemeenten (VSG).

Ambitie 4 - Het vaststellen van de *UN Sustainable Development Goals* (SDG's) en het implementeren hiervan in de Roadmaps.

De roadmaps streven ernaar om wetenschap vanuit verschillende perspectieven open te stellen voor de samenleving. Open voor samenwerkingen waar wetenschappers, innovators, sportpraktijken, beleidsmakers, bedrijven, maatschappelijke organisaties en burgers als de norm samenwerken om grotere maatschappelijke problemen op het gebied van sport, bewegen en training aan te pakken. Open voor nieuwe ontwerpen en methoden waarbij technologie en data een belangrijke rol spelen met respect voor de privacy van burgers. En openstaan voor multidisciplinaire en sectoroverschrijdende samenwerking om nieuwe grenzen te overschrijden die nodig zijn om bestaande systemen te doorbreken.

Sustainable Development Goals voor inclusieve mondiale ontwikkeling

Hoe kunnen we inclusieve mondiale ontwikkeling bevorderen en mondiaal welzijn op duurzame wijze vergroten? Dat is de centrale vraag binnen deze route. Een duurzame ontwikkeling sluit aan op de behoeften van het heden, zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen. Inclusieve ontwikkeling refereert aan het verbeteren van welzijn met inachtneming van een gelijkwaardige verdeling daarvan in de maatschappij. Daarnaast houdt inclusieve ontwikkeling in dat armen, achtergestelde en buitengesloten groepen in samenleving en politiek participeren.

Bij duurzame ontwikkeling is sprake van een goed evenwicht tussen ecologische, economische en sociale belangen. Ontwikkeling verschild daarmee van groei door een brede aandacht voor andere dimensies van welzijn dan alleen economische. Armoede vormt echter zeker een belemmering voor duurzame ontwikkeling. Vele mondiale uitdagingen zoals klimaatverandering, veiligheid en migratie, voedselzekerheid, gezondheid, wonen, duurzame energie en genderongelijkheid liggen niet alleen ten grondslag aan armoede, maar armoede verhindert tevens een effectieve aanpak ervan. Grote verschillen tussen arm en rijk bestendigen armoede.

Wanneer probleemoplossingen voor dergelijke mondiale uitdagingen niet de behoeften en belangen van alle bevolkingsgroepen of landen omvatten, kunnen deze oplossingen nooit duurzaam zijn. Indachtig deze relatie tussen armoede en duurzame ontwikkeling lag de focus van de Millennium Development Goals op het bestrijden van armoede in ontwikkelingslanden. De Sustainable Development Goals gaan verder in hun inclusiviteit en gelden universeel voor alle landen. Zij hebben betrekking op zeventien focusgebieden, die bestrijding van armoede in ontwikkelingslanden overstijgen en die de complexiteit en mondiale en interacterende aspecten van duurzame ontwikkeling weerspiegelen. Voor inclusieve, mondiale ontwikkeling is een begrip van de ecologische, sociale en economische dimensies en ook de integratie ervan in de ontwikkelingsrichtingen noodzakelijk. Dit maakt inclusieve mondiale ontwikkeling meer nog dan voorheen een ingewikkeld probleem, dat nieuwe wetenschappelijk

onderbouwde kennis over de onderlinge interactie tussen de SDG-deelsystemen en tussen binnenlandse en externe effecten vereist.

Maatschappelijke meerwaarde

Het verminderen van grote ongelijkheid door het nastreven van inclusieve ontwikkeling, is een fundamenteel doel van het Nederlandse beleid voor handel en ontwikkelingssamenwerking. Dit beleid hecht sterk aan coherentie met oog voor samenhang, mogelijke synergie en mogelijke tegenstellingen of uitruil tussen verschillende beleidsterreinen. Een onderzoeksagenda die gebaseerd is op de Sustainable Development Goals biedt het kabinet bij uitstek kansen om de horizontale beleidscoherentie tussen het ontwikkelings- en handelsbeleid en het beleid op het gebied van economie, veiligheid, infrastructuur, milieu, gezondheid en onderzoek en innovatie te verbeteren. Dit geldt tevens voor de verticale beleidscoherentie – de samenhang tussen het nationale, regionale en mondiale beleid – dat oog houdt voor effecten van Nederlands beleid op bijvoorbeeld armoede in ontwikkelingslanden.

Een scheve verdeling van welvaart en welzijn ondermijnt de sociale samenhang en vergroot het risico op conflicten. Andersom concentreert extreme armoede zich op plekken waar rechteloosheid, uitsluiting en geweld domineren. Gebrek aan vrede, veiligheid en kans op economische ontwikkeling is een belangrijke oorzaak voor emigratie. Investeren in inclusieve ontwikkeling draagt bij aan mondiale en daardoor ook aan Nederlandse veiligheid.

Economische meerwaarde

Grote ongelijkheid is schadelijk voor economische ontwikkeling. Als het inkomen van de laagste inkomensgroepen toeneemt, heeft dat een sterk positief effect op de economische groei van het land als geheel. Verschillende ontwikkelingslanden die lange tijd hulp van Nederland hebben ontvangen, laten hoge groeicijfers zien. Nederland profiteert hiervan doordat de export naar deze landen sterk toeneemt. Met andere woorden: investeren in kansarme groepen en ontwikkelingslanden is economisch gezien verstandig beleid.

Wetenschappelijke meerwaarde

Op dit moment bestaan er nauwelijks mogelijkheden om het ingewikkelde probleem van inclusieve ontwikkeling op mondiaal niveau te onderzoeken. Het complexiteitsdenken, de beschikbaarheid van big data, en de technische mogelijkheden kennis open te ontwikkelen en toegankelijk te maken, bieden kansen om mondiale ongelijkheid in al haar samenhangende aspecten te onderzoeken. Hierbij moeten we gebruikmaken van zowel westerse als zuidelijke perspectieven in een sector- en discipline-overstijgende wetenschappelijke systeembenadering. Daarnaast biedt het inclusieve mondiale perspectief vanuit en in samenwerking met niet-westerse culturen de Nederlandse wetenschap toegang tot een palet aan nieuwe wetenschappelijke benaderingen en manieren van kenniscreatie, onderzoeksmateriaal en expertise in niet-westerse samenlevingen. Zo creëren we kansen op innovatieve inzichten en doorbraken die anders buiten het bereik van de Nederlandse wetenschap zouden liggen.

Gamechangers

De benadering van de *UN Sustainable Development Goals* vereist nieuwe, wetenschappelijk onderbouwde inzichten in de onderlinge samenhang van de drie deelsystemen waarbinnen deze doelen zijn gegroepeerd. Daarnaast is een continent-overstijgende kennisinfrastructuur die ruimte biedt aan pluriforme waarde- en kennissystemen onontbeerlijk voor het ontwikkelen, managen en delen van nieuwe wetenschappelijke kennis, technologie en praktijkervaring.

Wetenschappelijke systeembenadering

Inclusieve mondiale ontwikkeling is tot op heden vooral bestudeerd vanuit het perspectief van de afzonderlijke deelsystemen; natuurlijke omgeving, infrastructuur en welzijn. Als gevolg van onzekerheden, tegenstrijdige waarden, veranderende randvoorwaarden en onderlinge afhankelijkheden is het bevorderen van mondiale inclusiviteit echter moeilijk te realiseren. Hierdoor leiden deeloplossingen tot nieuwe problemen. De systeembenadering is een wetenschappelijke benadering die beoogt het geheel te overzien en in nauwe samenwerking met lokale collega onderzoekers die de omgeving begrijpen in plaats van zich te concentreren op afzonderlijke deelsystemen. Het gedrag van een systeem is geen simpele keten van oorzaak-gevolgrelaties maar een samenspel van onderling wisselwerkende deelsystemen, waarbij terugkoppeling een belangrijke rol speelt. Hoe hebben interventies binnen een deelsysteem invloed op inclusieve ontwikkeling van het geheel?

Systeembenaderingen zijn al ontwikkeld binnen de sociale wetenschappen, natuurwetenschappen, technische wetenschappen en medische wetenschappen. Om als werkelijke gamechanger te kunnen fungeren moeten die nu met elkaar worden verbonden. Zo'n integrale systeembenadering in onderzoek draagt bij aan horizontale en verticale beleidscoherentie. Het ligt in de aard van ingewikkelde problemen dat interventies niet-voorspelbare en moeilijk meetbare gevolgen hebben. Noodzakelijke en integrale onderdelen van deze gamechanger zijn dan ook het op een wetenschappelijke wijze monitoren van inclusieve ontwikkeling en meten van impact. Dit vereist een operationele definitie van doelen en van meetbare voortgangsindicatoren. Het definiëren en uitwerken van toetsbare indicatoren en van een meetprocedure op mondiale schaal is een grote wetenschappelijke en politieke uitdaging die goed past bij het game-changing karakter van de systeembenadering. De openbare toegankelijkheid van big data kan hierbij van dienst zijn. Een degelijke, wetenschappelijke basis voor impact draagt bij aan transparantie en reflectie en is van belang om tussentijds te kunnen bijsturen en een hogere doelmatigheid te kunnen bereiken.



Kennisinfrastructuur voor waarde- en kennispluriformiteit

Onderzoek naar mondiale inclusiviteit geschiedt veelal vanuit het westerse perspectief met als blauwdruk modernisering volgens het westerse model. Deze benadering gaat voorbij aan de waarden, structuren en ontwikkelingsmodellen die zijn geworteld in niet-westerse samenlevingen. Dit is bijvoorbeeld het geval met het paradigma 'onzekerheid'. Waar de westerse samenleving economische onzekerheid ziet als een factor waarop moet worden geanticipeerd is dit binnen de shariawetgeving verboden: ingrijpen veronderstelt een impliciet gebrek aan vertrouwen in Allah. Om inclusiviteit op mondiale schaal te kunnen onderzoeken dienen we een breder spectrum aan kennissoorten en innovatiestijlen dan in de standaard westerse wetenschap gebruikelijk is te erkennen en te gebruiken. Hiervoor is samenwerking tussen verschillende kennisystemen nodig waarbij in co-creatie nieuwe kennis ontstaat door integratie van wetenschappelijke kennis en ervaringskennis van ook niet-wetenschappelijke partners, waaronder bedrijven.

Een dergelijke, complexe samenwerking tussen verschillende normatieve en instrumentele kennissystemen is gebaat bij een horizontale kennisorganisatie waarbij kenniscreatie door samenwerking geschiedt en kennis van iedereen is. Digitale technologieën kunnen infrastructuren verschaffen die deze verschuiving van een verticale naar een horizontale kennisorganisatie ondersteunen. Zo faciliteert ICT universele, open toegang tot data en maakt het mondiale, open source ontwikkelen van kennis en innovatie mogelijk.

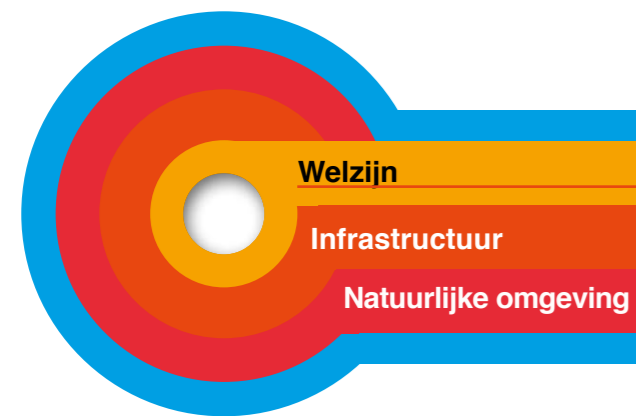
Nieuwe verbindingen

Nieuwe verbindingen in de wetenschap zijn nodig voor de theoretische en experimentele onderbouwing van de systeembenadering, bijvoorbeeld tussen wetenschappen die zich bezighouden met complexiteit en onzekerheid zoals wiskunde, filosofie, natuurkunde; scenario studies; big data analyse; en kennis vanuit de sociale en geesteswetenschappen, waaronder psychologie, religie en recht. Tevens is kennis noodzakelijk van de specifieke deelsystemen, zoals wetenschappen die zich bezighouden met bijvoorbeeld biofysische, economische of gezondheidsaspecten.

Daarnaast biedt ervaringskennis van beleidsmakers, boeren, patiënten, consumenten, activisten, technologiegebruikers en burgers waardevolle aanvullende inzichten die wetenschappelijke kennis kunnen verrijken.

Verbindingen met maatschappelijke actoren zijn cruciaal voor zowel het begrip van de context als ook in het kiezen van oplossingsstrategieën, het creëren van kennis en het implementeren van maatschappelijke verandering. De genoemde gamechangers vereisen nauwe samenwerking met het bedrijfsleven: multinationals opereren bij uitstek over landsgrenzen heen en zijn daardoor goed gepositioneerd om bij te dragen aan onderzoek naar mondiale inclusiviteit. Het midden- en kleinbedrijf vormt een cruciale factor in elke maatschappelijke verandering en met name in ontwikkelingslan-

den. Ook bezitten de Nederlandse ontwikkelingsorganisaties een schat aan praktijk kennis en ervaring die niet gemist kan worden bij het uitvoeren van deze route. De samenwerking tussen wetenschappers en praktijkexperts draagt niet alleen bij aan meer volledige kennis, maar ook aan een grotere kans op gebruik van onderzoeksresultaten en daarmee aan de te verwachten impact van het onderzoek, doordat de maatschappelijke partners of startup bedrijven de nieuwe kennis door ontwikkelen tot een te gebruiken dienst of product.



- 1 Het beëindigen van armoede in al zijn vormen en overal ter wereld.
- 3 Het waarborgen van gezond levens en het bevorderen van welzijn voor iedereen en alle leeftijden.
- 4 Het zekerstellen van inclusief en rechtvaardig, kwalitatief hoogwaardig onderwijs en het bevorderen van levenslange leermogelijkheden voor iedereen.
- 5 Het realiseren van gendergelijkheid voor en emancipatie van vrouwen en meisjes.
- 10 Het verminderen van de ongelijkheid binnen en tussen landen.
- 16 Het stimuleren van vreedzame en inclusieve samenlevingen voor duurzame ontwikkeling, het verschaffen van toegang tot gerechtigheid voor iedereen en het creëren van effectieve, verantwoordelijke en inclusieve instellingen op alle niveaus.
- 2 Het uitbannen van honger, het realiseren van voedselzekerheid en verbeterde voeding en het bevorderen van duurzame landbouw.
- 6 Ervoor zorgen dat water en sanitaire voorzieningen voor iedereen beschikbaar is en duurzaam beheerd wordt.
- 7 Het zekerstellen van de toegang tot betaalbare, betrouwbare, duurzame en moderne energie voor iedereen.
- 8 Het bevorderen van duurzame, inclusieve en duurzame economische groei, volledige en productieve werkgelegenheid en fatsoenlijk werk voor iedereen.
- 9 Het bouwen van een veerkrachtige infrastructuur, het bevorderen van inclusieve en duurzame industrialisatie en innovatie.
- 11 Het creëren van steden en menselijke nederzettingen die inclusief, veilig, veerkrachtig en duurzaam zijn.
- 12 Zorgen voor duurzame consumptie- en productiepatronen.
- 13 Het nemen van dringende maatregelen om klimaatverandering en de gevolgen ervan te bestrijden.
- 14 Het in stand houden en duurzaam gebruikmaken van oceanen, zeeën en mariene hulpbronnen voor duurzame ontwikkeling.
- 15 Het beschermen, herstellen en bevorderen van het duurzame gebruik van terrestrische ecosystemen, het waarborgen van een duurzaam bosbeheer, het bestrijden van woestijnvorming, en het tegengaan van landdegradatie en verlies aan biodiversiteit en het treffen van maatregelen voor het herstel.
- 17 Het versterken van implementatiemanieren en het revitaliseren van het wereldwijd samenwerkingsverband voor duurzame ontwikkeling.

http://bit.ly/Sustainable_Development_Goals

Tussen conflict en coöperatie



Overal waar mensen samenleven treden regelmatig conflicten op. Conflicten kunnen het gevolg zijn van schaarste, armoede, ongelijkheid in rechten en kansen, maar ook van competitie, tegenstrijdige belangen, of een gebrek aan vertrouwen. De oorzaak van een conflict is niet altijd te achterhalen: conflicten transformeren en zijn continue 'in wording'. Conflicten zijn niet alleen van alle plaatsen, maar ook van alle tijden. Nieuwe ontwikkelingen in samenlevingen brengen vaak ook nieuwe vormen van conflicten alsmede nieuwe aanleidingen voor conflicten met zich mee.

Niet alleen conflict, maar ook coöperatie, oftewel samenwerking, komt overal waar mensen met elkaar leven voor. En ook dat is van alle tijden. Coöperatie kan voortkomen uit noodzaak, gemeenschapsgevoelens en gedeelde normen, maar bijvoorbeeld ook worden afgedwongen door macht of door wetten. Door afspraken te maken over coöperatie – informeel of formeel door institutionalisering - kunnen conflicten worden voorkomen of worden opgelost.

Zowel conflicten als coöperatie variëren sterk waar het gaat om ontstaansgeschiedenis, locatie, omvang, duur en intensiteit. Ook het aantal van betrokken actoren, hun machtsmiddelen en belangen kan sterk uiteenlopen. Tevens zijn zowel conflict als coöperatie op alle niveaus van samenlevingen aan te treffen, denk aan het microniveau van dyadische relaties en sociale netwerken, het mesoniveau van buurten of organisaties en het macroniveau van geopolitieke regio's en staten.

Deze route kent drie uitgangspunten voor onderzoek naar conflict en coöperatie:

1. Allereerst wordt onderkend dat er een *samenhang tussen conflict en coöperatie* bestaat. In plaats van tegenpolen, staan conflict en coöperatie, net als oorlog en vrede, in een ambigue relatie tot elkaar. Hoewel door coöperatie-afspraken conflicten gereguleerd kunnen worden kan samenwerken

juist ook tot conflicten leiden. En ook andersom kunnen conflicten als onbedoeld gevolg hebben dat samenwerking tussen partijen tot stand komt die voorheen niets met elkaar te maken hadden. Onderzoek naar conflict alsmede naar coöperatie is daarom essentieel voor het begrijpen van sociale cohesie. Conflict en coöperatie zijn daarnaast multi-niveau processen. Dit betekent dat onderzoek binnen de route schakelt tussen *micro, meso- en macroniveau*: conflicten en coöperatie zijn dynamische processen die zich op verschillende niveaus van interactie manifesteren.

2. Een tweede belangrijk uitgangspunt van de route is het *meten en monitoren van de dynamiek van conflict en coöperatie*. Het verloop van specifieke conflicten en samenwerkingsvormen is nooit statisch. Belangrijke vragen hier zijn wanneer en hoe een conflict (gewelddadig) escaleert, wanneer en hoe samenwerking geleidelijk ondermijnt wordt en welke interventies kunnen worden uitgevoerd om dergelijke processen om te buigen. Waar liggen omslagpunten bij conflicten en coöperatievormen, waar liggen de *tipping* en *dipping points*? Wat zijn de effecten van interventies, voor wie en in welke setting? Wat brengt partijen weer bij elkaar, hoe is leed en schade te herstellen? Met andere woorden, de route tracht zoveel mogelijk empirische evidentie te verzamelen om daarmee empirisch onderbouwde interventies te ontwikkelen. Om dit te realiseren is meer theoretische en empirische kennis nodig over de factoren die bijdragen aan zowel de ondermijning als de versterking van coöperatie tussen staten, samenlevingen, instituties en individuen.

3. Het derde uitgangspunt van de route is dat de aard van de vraagstukken conflict en coöperatie *multi- en interdisciplinair* onderzoek vereist. De verklarende condities zijn niet gerelateerd aan één wetenschappelijke discipline. Het bestuderen van conflict en coöperatie en het ontwikkelen en toetsen van nieuwe hypothesen heeft baat bij een dialoog

tussen verschillende analytische vocabulaires en methodes binnen de sociale en geesteswetenschappelijke tradities, maar ook daarbuiten: denk aan VR-technieken, Big Data, machine learning of grootschalige netwerkanalyses. Dat betekent ook dat binnen de route partnerschappen aangegaan worden die onverwacht en niet voor de hand liggend zijn, zoals samenwerkingen met klimaatwetenschappers, wiskundigen, neurowetenschappers of ingenieurs.

Institutionele, technologische en sociale ontwikkelingen

De route speelt in op urgente ontwikkelingen in de samenleving. Zo is in de laatste decennia het omgaan met conflicten en coöperatie veranderd. Steeds meer wordt er bijvoorbeeld getracht conflicten buiten de rechtszaal op te lossen door bijvoorbeeld mediatie of coaching. Ook de variatie in de mate waarin straffen vrijheid beperken is gegroeid. Een derde nieuwe ontwikkeling is de aandacht voor herstel nadat een conflict geëscaleerd is en een slachtoffer schade heeft geleden. Deze veranderingen zijn voorbeelden van institutionele veranderingen en ze maken onderdeel uit van de route.

Een tweede soort verandering die zich de laatste jaren heeft voorgedaan is technologisch. De mogelijkheden tot cyberconflicten zijn gegroeid en zullen vermoedelijk nog meer toenemen. Ook worden oorlogen steeds vaker 'op afstand' gevoerd: doormiddel van drones. Ze verlopen anders dan conflicten in de niet-digitale ruimte omdat ze niet gebonden zijn aan fysieke grenzen, maar ook omdat de geweldsinzet wordt uitbesteed aan particuliere bedrijven of lokale allianties. Veel conflicten gebruiken echter ook mengvormen van online en offline technologieën, zoals te zien in de oorlog in Oekraïne.

Een derde ingrijpende verandering is de nasleep van de covid pandemie. De pandemie werkte als een vergrootglas voor sociale verhoudingen. Bestaande scheidslijnen werden verdiept, maar ook nieuwe

deden zich voor. Sommige vormen van conflicten – zoals die tussen burens – werden door het aanhoudende thuiswerken groter, maar ook bijzondere vormen van coöperatie, zoals online muzieklessen, deden de intocht.

Voorbeelden van onderzoek

Binnen de route is de laatste jaren veel onderzoek verricht. Drie voorbeelden van nog lopend onderzoek zijn het COM(batting)CRIM project, het EPIC project en enkele kleine projecten naar conflictplossing tijdens covid. Binnen het COMCRIM project staat ondermijning van de rechtsstaat door georganiseerde misdaad centraal. Het project focust op mensenhandel, witwassen en corruptie en het consortium omvat naast wetenschappers ook banken, ministeries en NGO's. Binnen het EPIC project (Explaining – Preventing and Intervening in organized Crime involvement) staat de betrokkenheid van jongeren bij georganiseer-

de criminaliteit centraal, worden bestaande interventies op hun effectiviteit beoordeeld en worden hotspots in kaart gebracht. Op basis van deze kennis kunnen er vervolgens nieuwe interventies worden ontworpen en geïmplementeerd. In dit consortium werken wetenschappers van zes universiteiten, onder leiding van het NSCR, samen met de HvA, CBS, Stichting HALT, CCV, Politie, en verschillende gemeentes. Binnen enkele kleinere projecten wordt tot slot de verhoging van cybercriminaliteit door covid voor kleine bedrijven onderzocht en gekeken hoe deze risico's verkleind kunnen worden.

Deze projecten tonen het potentieel van de route. Ook in de toekomst is onderzoek naar conflict en coöperatie nodig voor het begrijpen en ondersteunen van onze mondiale orde, maatschappelijke veerkracht en democratische stabiliteit.

Waardecreatie door verantwoorde Artificial Intelligence en Big Data

De impact van Artificial Intelligence (AI) is zichtbaar in alle sectoren van de samenleving: van wetenschap tot economie, van gezondheid tot overheid, van de financiële sector tot elk facet van het dagelijks leven. Een belangrijke drijfveer achter deze ontwikkeling is de explosief groeiende hoeveelheid en diversiteit van gegevensbestanden, big data. Artificial Intelligence maakt niet alleen gebruik van 'veel data'; maar ook van nieuwe combinaties van data en continue stromen van gegevens, die nieuwe eisen stellen aan infrastructuur en technieken, aan mensen die ermee werken, en aan de samenleving die ze implementeert.

Van het automatisch detecteren van cybercriminaliteit tot aan het verbeteren van de efficiëntie van de gezondheidszorg; in vrijwel alle facetten van de wetenschap, economie en maatschappij groeit de impact van grootschalige gegevensbestanden. Pas sinds kort hebben we voldoende rekenkracht, computergeheugen, netwerkverbindingen, dataopslag en vooral geavanceerde (machine learning) algoritmen, analysetechnieken en software om grote en diverse gegevensbestanden te kunnen analyseren en de resultaten daarvan te kunnen gebruiken. De urgentie van het onderwerp blijkt ook uit de Nationale Wetenschapsagenda zélf; in alle domeinen van de agenda spelen AI en big data een rol in de vragen.

Wat betekent AI als gamechanger?

De revolutionaire kracht van AI ligt in het combineren en analyseren van een veelheid aan verschillende gegevens zodat daarin voorspellende patronen kunnen worden gevonden. Dat heeft alleen waarde voor de maatschappij als AI verantwoord wordt ontwikkeld en ingezet. Het is daarom van belang dat de ontwikkeling, de inzet en het gebruik van AI-systemen voldoet aan de *zeven requirements for Trustworthy AI* zoals

geïntroduceerd door de High-level expert group on AI van de Europese Commissie: (1) human agency and oversight, (2) technical robustness and safety, (3) privacy and data governance, (4) transparency, (5) diversity, non-discrimination and fairness, (6) environmental and societal well-being and (7) accountability.

De maatschappelijke waarde van AI ontstaat door de toepassing van AI in een veelheid aan economische sectoren en door de groeiende big data economie zelf. De maatschappelijke waarde ligt in het opleiden van mensen in AI, data science en aanverwante disciplines, het data-bewust maken van burgers en het implementeren van datagedreven onderzoek in praktisch alle maatschappelijke domeinen. De wetenschappelijke waarde zit in het vergroten van het vermogen om nuttige informatie te halen uit grootschalige gegevensbestanden of de koppeling daartussen, zoals DNA-banken, bevolkingsregisters of klimaat simulaties.

Om aan de vraag aan AI-kennis te kunnen voldoen en optimaal waarde te kunnen creëren is een aantal acties noodzakelijk.

Verbeterde analysetechnieken en algoritmen zullen in staat moeten zijn om betrouwbaar te werken op een grote diversiteit aan data, zoals transacties, gesproken of geschreven teksten, beelden en metingen. Data moet uitwisselbaar (interoperabel) zijn én moet kunnen worden geanalyseerd zonder dat gevoelige informatie op een ongewenste manier naar buiten lekt. Tot slot zullen de essentiële elementen van AI en data science in alle niveaus van het onderwijs worden opgenomen om de benodigde tienduizenden AI specialisten te kunnen opleiden.

Democratische waarden als gelijkheid, openheid, juistheid, volledigheid, betrouwbaarheid en vertrouwelijkheid moeten verankerd zijn in het ontwerp van AI. Algoritmen moeten transparant zijn en geen politieke, regionale, etnische, of genderkleuring hebben. Daarbij staat de betrokkenheid van de gebruikers van AI centraal.

Het gezamenlijk zoeken naar de balans tussen wat met AI kan, mag en wenselijk is, is dé gamechanger in AI. In het ontwerpproces komen technologische, (bedrijfs)economische en maatschappelijke afwegingen bij elkaar. Europese regelgeving zoals de GDPR, de AI Act, de Data Act, de Digital Services Act en de Data Governance Act definiëren de randvoorwaarden waarbinnen de ontwikkeling plaatsvindt. Het verkennen en evalueren van bovengenoemde balans zal plaatsvinden in zogenoemde 'Regulatory Sandboxes'. AI deze aspecten moeten aandacht krijgen in huidig en toekomstig onderzoek.

Impact

Artificial Intelligence heeft een belangrijke impact op:

Kwaliteit van leven

Door te zorgen voor meer transparantie, goede bescherming van privacy, en minder foutieve of oneerlijke beslissingen kan AI de kwaliteit van leven vergroten in de zorg, in het verkeer, in slimme steden en in vrijetijdsbesteding. Tevens zal hierdoor de digitale weerbaarheid van de bevolking worden vergroot.

Urgente politieke en overheidsvraagstukken

De kwaliteit en efficiëntie van de Nederlandse overheid kan aanzienlijk verbeteren door slim gebruik te maken van de mogelijkheden van AI in urgente uitdagingen als efficiëntie in de zorg, digitale dienstverlening aan burgers, moderniseren van onderwijs, opsporen van (cyber)criminaliteit, mobiliteit, versterken van milieudoelstellingen, voedselzekerheid en het oplossen van internationale conflicten.

Economie

Nieuw te ontwikkelen methoden, modellen en technieken op het terrein van AI vormen een basis voor economische en intellectuele exportproducten. Het openstellen van publieke data ten behoeve van gemeenten, energievoorziening, openbaar vervoer en onderwijs creëert nieuwe economische kansen. Het is essentieel voor onze economie om waardecreatie in Nederland en de Europese Unie te borgen in het licht

van de langjarige effecten van opkomende monopolies en bijbehorende interventiestrategieën van buiten de EU: soevereiniteit op het gebied van data en AI is een belangrijk speerpunt van de EU, waaraan Nederland zeker zal bijdragen.

Beroepsbevolking en werkgelegenheid

Met het oog op de toenemende rol van AI, data en robotisering in allerlei sectoren, is het versterken van AI en data science-competenties noodzakelijk voor de concurrentiekracht van het Nederlandse bedrijfsleven en het toekomstig groeivermogen van de Nederlandse economie.

Open wetenschap en open innovatie

Nederland is bij uitstek geschikt om het voortouw te nemen in onderzoek naar AI. Europa is zeer gericht op open wetenschap en open innovatie. Data is de grondstof voor AI, en het toenemend gebruik van verspreide gegevensbestanden vraagt om maximale samenwerking tussen wetenschappers, bedrijven en maatschappelijke spelers. Het Nederlandse poldermodel werkt door in het ontsluiten van gegevensbestanden. Meer dan in landen en continenten met 'big tech' datamonopolies ontstaat samenwerking tussen verschillende eigenaren en afnemers van gegevens, elk met een eigen belang om data te delen.

Nederland heeft een uniek groot en actief ecosysteem op het gebied van AI- en big data-onderzoek en toepassingen. SURF voorziet in de nationale e-infrastructuur voor onderwijs en onderzoek. Het *Netherlands eScience Center* (NLeSc) ontsluit digitale technologie op basis van de vraag uit onderzoektoepassingen. Veel universiteiten en sommige hogescholen hebben in de afgelopen jaren data science centra opgericht. Onderwijsprogramma's komen langzamerhand van de grond. En verschillende nieuwe samenwerkingsnetwerken zijn onlangs ontstaan, zoals de Nederlandse AI Coalitie (NLAIC). Ook de ministeries, regionale overheden, kennisinstellingen en andere organisaties ontwikkelen samenwerkingsverbanden om AI-toepassingen te versterken.

Tot slot heeft Nederland één van de beste digitale infrastructuren van Europa, ook wel de digitale mainport genoemd. Het verantwoord energiezuinig ontwikkelen van deze mainportfunctie is van groot belang voor Nederland. Datacenters zijn nu al verantwoordelijk voor vier procent van het nationale elektrisch energieverbruik en de maatschappelijke weerstand tegen nóg meer grote datacenters is serieus te nemen.

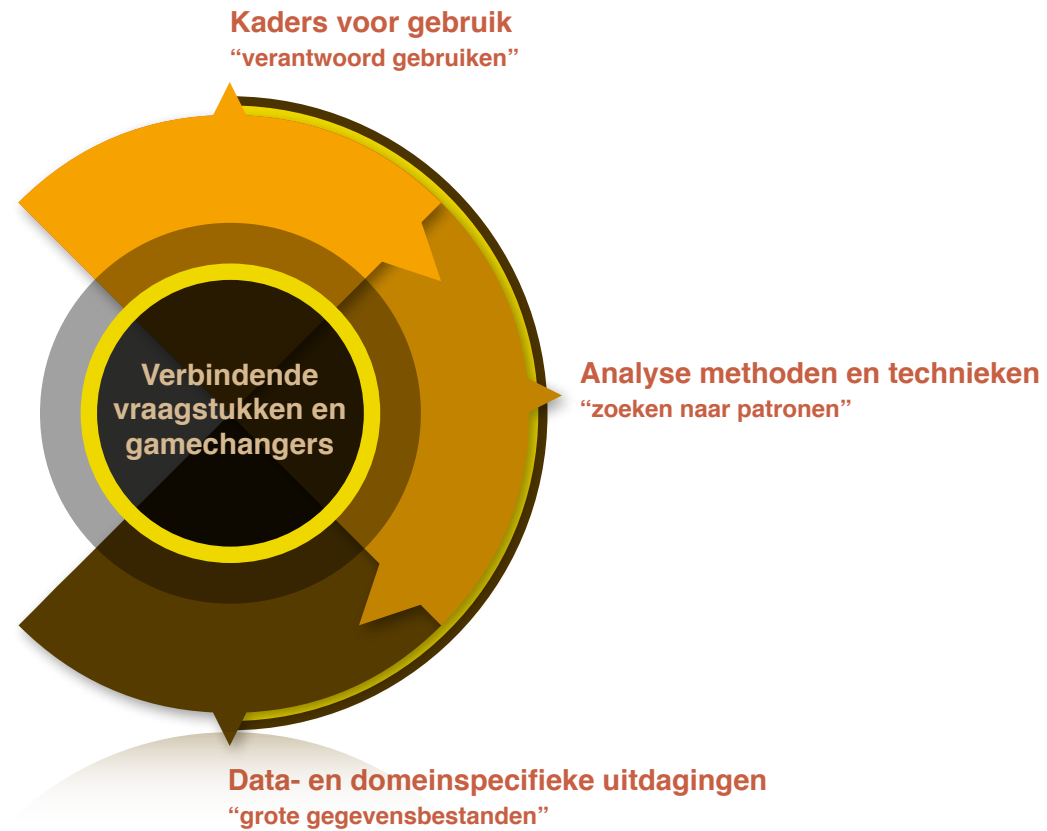
Bruggen slaan

Verantwoorde ontwikkeling en inzet van AI vereist dat universiteiten, kennisinstellingen, verstrekkers van infrastructuur, overheden, bedrijven en burgerorganisaties intensief samenwerken. Verboddeling van financieringsbronnen en budgetten maken slagvaardig opereren moeizaam. Om bruggen te kunnen slaan tussen juridische, ethische, culturele, sociale, (bedrijfs)economische, informatiekundige en technologische aspecten, en om de slagkracht van de Nederlandse AI-inspanningen aanzienlijk te vergroten is een extra kennisinvestering noodzakelijk. Minstens een kwart hiervan zal naar verwachting uit private middelen komen.

De komende jaren moeten we inzetten op:

- Het stimuleren van waardecreatie in toepassingsdomeinen door het opzetten van proeftuinen en grootschalige privaat-publieke valorisatieprojecten. Het AI-ecosysteem zou duurzaam kunnen worden versterkt door toolbox projecten, technologie transfer initiatieven, het bevorderen van personele mobiliteit, en multidisciplinaire kennisdisseminatie.
- Het scheppen van mogelijkheden voor multidisciplinair onderzoek. Het onderwijs en het wetenschappelijke fundament van AI moeten worden versterkt en verbreed en ook worden ingebed in de verschillende toepassingsgebieden.

Dat varieert van technologisch en natuurwetenschappelijk, tot juridisch en sociaal-economisch onderzoek. Universiteiten en hogescholen trekken nieuw (interna-



**Drie invalshoeken op de route big data die geleid hebben tot de gamechanger
“Waardecreatie door verantwoorde toegang en gebruik van *big data*”.**

tionaal) talent aan dat zich richt op de uitdaging om verantwoorde AI te ontwikkelen.

Blijvende vernieuwing van bestaande infrastructuur en ontsluiting daarvan voor toepassingen in Nederland. De digitale mainportfunctie moet worden versterkt en uitgebreid richting AI onderzoek en toepassing. Dit omvat zowel investeringen in high-end SURF-faciliteiten, zoals up-to-date gecentraliseerde rekenkracht, snelle netwerken en gespecialiseerde data stewards die bruggen slaan tussen ICT en toepassingen, als investeringen in open en interoperabele infrastructu-

ren die ondersteunend zijn voor big data in de volle breedte van wetenschap en economie.

Het ontwikkelen van de gamechanger AI is behalve een investering in excellente wetenschap en waardecreatie ook een voorwaarde voor het succes van vele andere routes binnen de Nationale Wetenschapsagenda. ICT, AI en data science vervullen op vele terreinen de rol van innovator voor andere innovatoren. De uitdaging om optimaal en verantwoord gebruik te kunnen maken van AI vereist een duurzame, multidisciplinaire samenwerking tussen universiteiten, kennisinstellingen, ministeries en bedrijven.

Colofon

Boegbeelden en trekkers

Albert Polman, Albert van den Berg, Albert Veenstra, Andrea Ramírez Ramírez, Beate Volker, Bruno Ehler, Carlo Beenakker, Cees Vervoorn, Claire Stolwijk, Esther van Beuken, Freek Bomhof, Gerda Feunekes, Gijsje Koenderink, Han Dolman, Han Olf, Hanneke van Laarhoven, Helene Voogdt-Pruis, Hester Dibbits, Inge Loes ten Kate, Jan Bouwe van den Berg, Jan Pieter van der Schaar, Jan Post, Jonathan Even Zohar, Joris Rijbroek, Judith Veenkamp, Julia Henrich, Kim Karsenberg, Koen Lemmink, Leo Dvortsin, Lydia Krabbendam, Maaïke Kempes, Mandy Segers, Marc Bierkens, Marck Smit, Marco Beijersbergen, Mark Boneschanscher, Maureen Voestermans, Merel Willemsen, Michel van Dartel, Nick van der Giesen, Olga Scholten, Oscar van den Brink, Richard van Wezel, Rick Grobbee, Robert Huiberts, Ronald Hanson, Rosalie van Dam, Ruud van den Brink, Sabine Severiens, Sander Thomaes, Sijbren Otto, Sjoukje Heimovaara, Steven Dhondt, Tanja Vonk, Tibor Bosse, Ton Rabelink, Ton Wilthagen, Willem Kop, Wouter Meys

Ontwerp- en Beeldredactie

Dimardesign

Druk:

