

# Portfolio voor onderzoek en innovatie

samenwerking  
creativiteit  
vernieuwing

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

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
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
Jeugd in ontwikkeling, opvoeding en onderwijs	31
Kunst: onderzoek en innovatie in de 21 <sup>ste</sup> 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
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
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
Waardecreatie door verantwoorde toegang tot en gebruik van big data	103
Epiloog	107

---

# Inleiding

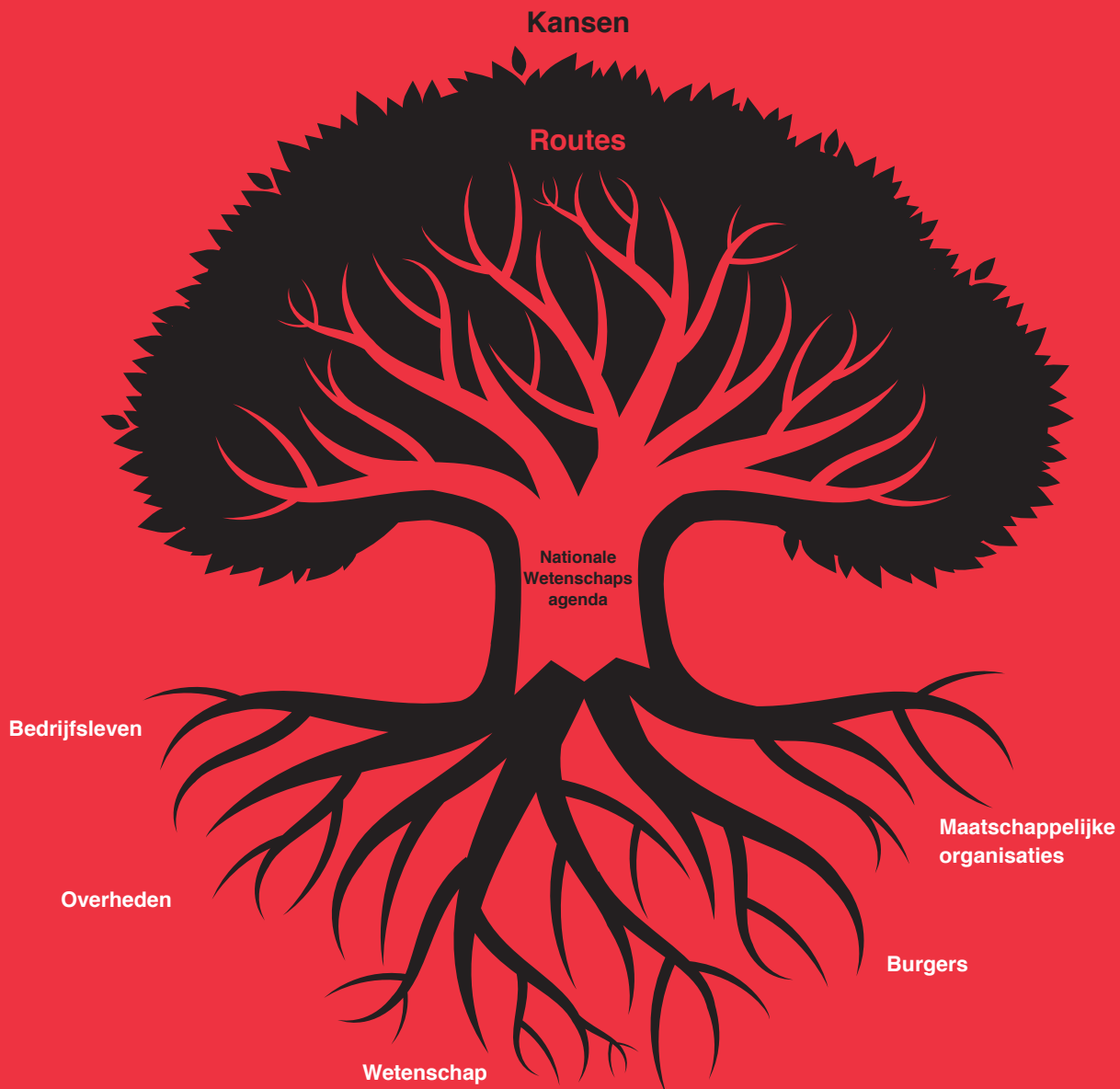
## Van vragen naar kansen

Onderzoek en innovatie zijn onmisbaar om antwoorden te vinden op de grote uitdagingen van onze tijd en kansen te scheppen voor de toekomst. Het scheppen van kansen begint met het stellen van vragen. De in december 2015 gepubliceerde Nationale Wetenschapsagenda beschrijft 140 urgente vraagstukken voor onderzoek en innovatie. Deze 140 overkoepelende vraagstukken zijn gebaseerd op 11.700 vragen die zijn ingediend na een brede consultatie onder alle Nederlanders.

Dit 'Portfolio voor onderzoek en innovatie' beschrijft het resultaat van de volgende fase in het proces: de stap van onderzoeksvragen naar het formuleren van routes door de vragen heen, routes die deelverzamelingen van onderling samenhangende vragen bijeen brengen. De routes verbinden wetenschap, technologie en innovatie. Zij geven aan welke kansen in samenspraak met maatschappelijke partners en bedrijven opgepakt en benut kunnen worden en wat die inzet de samenleving en de economie op termijn oplevert. Deze kansen zijn geformuleerd tijdens workshops waaraan in totaal tussen de twee- en drieduizend mensen hebben meegewerkt.

Alle routes die in de Nationale Wetenschapsagenda zijn beschreven worden in dit portfolio verder uitgewerkt, soms onder een iets andere naam. Daarnaast zijn nog negen additionele routes vanuit het veld aangereikt. Omdat al deze routes dwars door disciplines en sectoren heen snijden, is er geen voor de hand liggende manier om de routes te groeperen of in te delen. Ook is er geen sprake van een rangorde. Om die reden worden de routes in het portfolio in alfabetische volgorde gepresenteerd.

De Nationale Wetenschapsagenda kan worden weergegeven als een boom met wortels, stam en kruin. De wortels vertegenwoordigen datgene waar de boom uit is voortgekomen en op steunt: de nieuwsgierigheid van de samenleving en de vele vragen die burgers, maatschappelijke organisaties, bedrijven, overheden en wetenschap hebben ingediend. De stam staat voor de 140 overkoepelende vragen die in de Nationale Wetenschapsagenda worden gepresenteerd. De kruin van de boom staat voor het 'Portfolio voor onderzoek en innovatie'. De takken zijn de routes die uit de stam oprijzen en de bladeren zijn de kansen op doorbraken in onderzoek en innovatie die in de routes zijn geïdentificeerd. In zijn geheel staat de boom voor een uniek participatief proces, een samenwerkingsproject dat zijn weerga niet kent.



### Gebruik

Dit portfolio dient twee doelen. Allereerst geeft hij prioriteiten aan voor investeringen in het Nederlandse onderzoek. Deze publicatie is als losstaande uitgave beschikbaar, maar vormt ook de inhoudelijke bijlage bij de investeringsagenda die de Kenniscoalitie - bestaande uit KNAW, MKB-Nederland, NFU, NWO, TO2-federatie, Vereniging Hogescholen, VNO/NCW en VSNU - aan de politiek voorstelt. Daarnaast legt dit portfolio een basis voor samenwerking tussen onderzoekers. Rond de routes hebben zich betrokken gemeenschappen van belanghebbenden in wetenschap, bedrijfsleven, overheid en samenleving geformeerd.

Het portfolio is een momentopname. Hij geeft, naar de huidige stand van inzichten, veelbelovende thema's weer voor het realiseren van grensverleggende doorbraken in onderzoek en innovatie; doorbraken die het speelveld van wetenschap, economie en samenleving diepgaand kunnen veranderen. Deze inzichten zijn niet statisch en blijven zich ontwikkelen. Het is dan ook mogelijk dat in de komende jaren nieuwe routes door de vragen van de wetenschapsagenda worden uitgestippeld en uitgewerkt, resulterend in de identificatie van nieuwe kansen. Op termijn zal de Nationale Wetenschapsagenda zelf worden ververst en herijkt in een nieuw participatief proces.

## **Gamechangers**

Het portfolio biedt beschrijvingen van de nu geïdentificeerde kansen per route. De meeste routes benoemen verschillende onderwerpen, die zij gamechangers noemen. Gamechangers zijn invalshoeken of benaderingen die de potentie hebben het onderzoek diepgaand te vernieuwen. Ze zijn verschillend van aard. Deels hebben ze een inhoudelijk karakter en beschrijven de onderzoeksthema's die potentieel tot doorbraken kunnen leiden: onderwerpen waarin met voorrang geïnvesteerd zou moeten worden. Deels behandelen ze voorwaarden voor succes of de benodigde wetenschappelijke infrastructuur. Ook zijn er routes die cruciale methodische vernieuwingen inbrengen als gamechangers.

Inhoudelijk variëren de routes in breedte en diepte. Sommige formuleren een breed scala aan mogelijke kansen; andere werken een beperkt aantal kansen in de diepte uit. Daarbij zijn er routes die bewust hebben gekozen om andere routes te doorsnijden, zoals: Waardecreatie door verantwoorde toegang en gebruik van big data; Meten en detecteren: alles, altijd en overal; of Sustainable Development Goals voor inclusieve mondiale ontwikkeling. Er zijn onderwerpen die in meerdere routes terugkomen, waarbij iedere route een eigen invalshoek kent. De epiloog aan het eind van dit boek gaat hier nader op in.

De routes beperken zich echter niet tot het benoemen van inhoudelijke kansen. Ze besteden ook aandacht aan de vertaalslag van onderzoek naar maatschappelijke benutting en het dichten van de innovatiekloof. Daarnaast bevatten sommige routes voorstellen voor nieuwe instituten of voor nieuwe grootschalige samenwerkingsverbanden. Ook educatie is een onderwerp dat vaak terugkomt. Voor veel routes is niet alleen nieuw onderzoek belangrijk, maar goed onderwijs in gespecialiseerde kennis en in eigentijdse vaardigheden evenzeer. Ten slotte vinden alle routes het belangrijk om de kansen die zij formuleren maatschappelijk verantwoord te realiseren. Het gaat dan om sociale, juridische en ethische consequenties van het onderzoek, zoals privacy- en veiligheidsgevoeligheden, maatschappelijke acceptatie en *governance*.

Verder willen veel routes een impuls geven aan nieuwe uitvoeringsvormen voor onderzoek. Een aantal routes noemt proeftuinen als *living labs* of *field labs* als middel om multidisciplinariteit daadwerkelijk vorm te geven. Ook *citizen science*, waarbij burgers worden betrokken bij vraagstelling, dataverzameling, interpretatie en implicaties van onderzoek, komt in meerdere routes terug.

## **Ten slotte**

Met het formuleren van kansen binnen routes is een volgende stap gezet naar een voorstel voor zinvolle en nuttige investeringen in onderzoek en innovatie. Het onderzoek dat in de routebeschrijvingen wordt voorgesteld, zal op lange termijn een grote bijdrage leveren aan het oplossen van tal van maatschappelijke vraagstukken, het realiseren van duurzame economische groei en aan het versterken van de internationale positie van het Nederlandse onderzoek.



# De blauwe route: water als weg naar innovatieve en duurzame groei

Ruim zeventig procent van het aardoppervlak bestaat uit water. Water is een voorwaarde voor alle bekende levensvormen. Het is de bron van voedselproductie en de drager van afvalstromen en transport. Daarnaast biedt water mogelijkheden tot energieopwekking en circulariteit. Deze 'blauwe route' richt zich op het beter begrijpen, benutten en beschermen van oceanen, zeeën, delta's en rivieren, en van zout, zoet en grondwater. Op die manier kunnen we wereldwijd duurzaamheid, welzijn en welvaart verhogen.

De zeewaterspiegel stijgt, klimaatverandering beïnvloedt de oceaan, plastic afval vervuult het water, er is een gebrek aan schoon drinkwater en het bruikbare land raakt overvol. En precies op het kwetsbare scheidsvlak tussen water en land vinden we vruchtbare grond en wonen steeds meer mensen.

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 technologie, productiesystemen en woon- en werkruimte ontwikkelen om het water duurzaam te benutten. Daarvoor is het noodzakelijk dat we het water beschermen en onszelf tegen het water beschermen.

## Leven met water

Deze route verbindt uitdrukkelijk de traditionele bètaclusters met techniek en de gammawetenschappen. Rondom water zijn niet alleen ecologische, economische, analytische en technische aspecten van belang, maar ook bijvoorbeeld gekoppelde lokale, regionale en mondiale bestuurlijke en ruimtelijke beleidsvragen. Leven en werken met water bieden ruimte voor duurzame groei, zelfs in tijden van zeespiegelstijging, urbanisatie en toenemende mondiale bevolkingsgroei. De route verbindt toegepaste vragen met fundamentele en normatieve vragen rond klimaatverandering en waterveiligheid, water- en grondstofzekerheid, transport over water, duurzame energieopwekking op zee en in kustgebieden, opslag van energie

in oppervlakte- en grondwater, maritieme infrastructuur, ruimtelijke ordening, stedenbouw, landwinning, water- en luchtkwaliteit, verduurzaming, voedsel- en biomassaproductie op land en in het water, maar ook rond bodemgezondheid, bodemdaling en biodiversiteit in de breedste zin.

## Urgentie

Het veranderende water is een thema dat ons allemaal raakt. Rivieren, zeeën en oceanen vormen zowel een bedreiging als een kans. Het *World Economic Forum* noemt watercrises de bedreiging met de grootste impact voor de wereldeconomie. De gevolgen van klimaatverandering scoren eveneens hoog in de top-10 van bedreigingen, zowel qua frequentie als qua impact. Daarnaast leeft de helft van de wereldbevolking op dit moment in delta's, kust- en riviergebieden. Naar verwachting zal dit percentage in 2050 zelfs oplopen tot zeventig procent van de totale wereldbevolking. Deze 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. Water biedt ook nieuwe bronnen voor energie, grondstoffen, voedsel en transport. We kunnen het ons eenvoudigweg niet permitteren om stil te staan. 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. Nu kunnen we verder groeien op, aan en 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 combinatie van 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. 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. Daar moeten we meer van weten.
3. De blauwe route gaat van een 'gevecht tegen het water', via het 'bouwen met het water' naar het echt 'leven met water'. 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, de Zuidwestelijke Delta, de Wadden en de Noordzee gebruikt worden als experimenteerruimte om het totale systeem beter te kunnen doorgronden.

Deze vier lijnen vertalen zich in vier gamechangers.

### Leven in de Delta

*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. Daarmee nemen de bedreigingen toe voor de bewoonbaarheid en leefbaarheid van delta's. Zeespiegelstijging, bodemdaling, extreme rivierwaterafvoeren, waterschaarste, druk op de

schaarse ruimte, grondwateruitputting, verzilting en waterverontreiniging zijn problemen waar we ons in de toekomst tegen moeten wapenen. Met Nederland als levend voorbeeld willen we werken aan de *Sustainable Urban Delta*. Kennis over rivier- en kustsystemen, over stedelijke watersystemen, over adaptief deltamanagement, over efficiënter (circulair) gebruik van zoet water en over *building-with-nature*-oplossingen biedt nieuwe wetenschappelijke uitdagingen.

### Water als bron

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

Water is een bron van leven. Het is een belangrijke bron van plantaardig en dierlijk voedsel. Nieuwe manieren van waterbeheer, zoals tijdelijke opslag in grondwater, hergebruik van afvalwater en het aanwenden van brak water kunnen de waterbeschikbaarheid in dichtbevolkte gebieden vergroten. Nieuwe vormen van voedselvoorziening voor mens en dier middels duurzame visserij, *aqua farming* en zeewierteelt bieden mogelijkheden om het beschikbare landbouwareaal nabij stedelijke gebieden te vergroten. Energiewinning op het water middels waterkracht, getijddestroming, golfenergie, osmose en ook wind in meren en op zee bieden enorme mogelijkheden voor duurzame energiewinning. Tenslotte vormen de oceaan-, zee- en rivierbodem een bron van sedimenten, mineralen en andere essentiële grondstoffen die door de mens duurzaam gewonnen en benut kunnen worden.

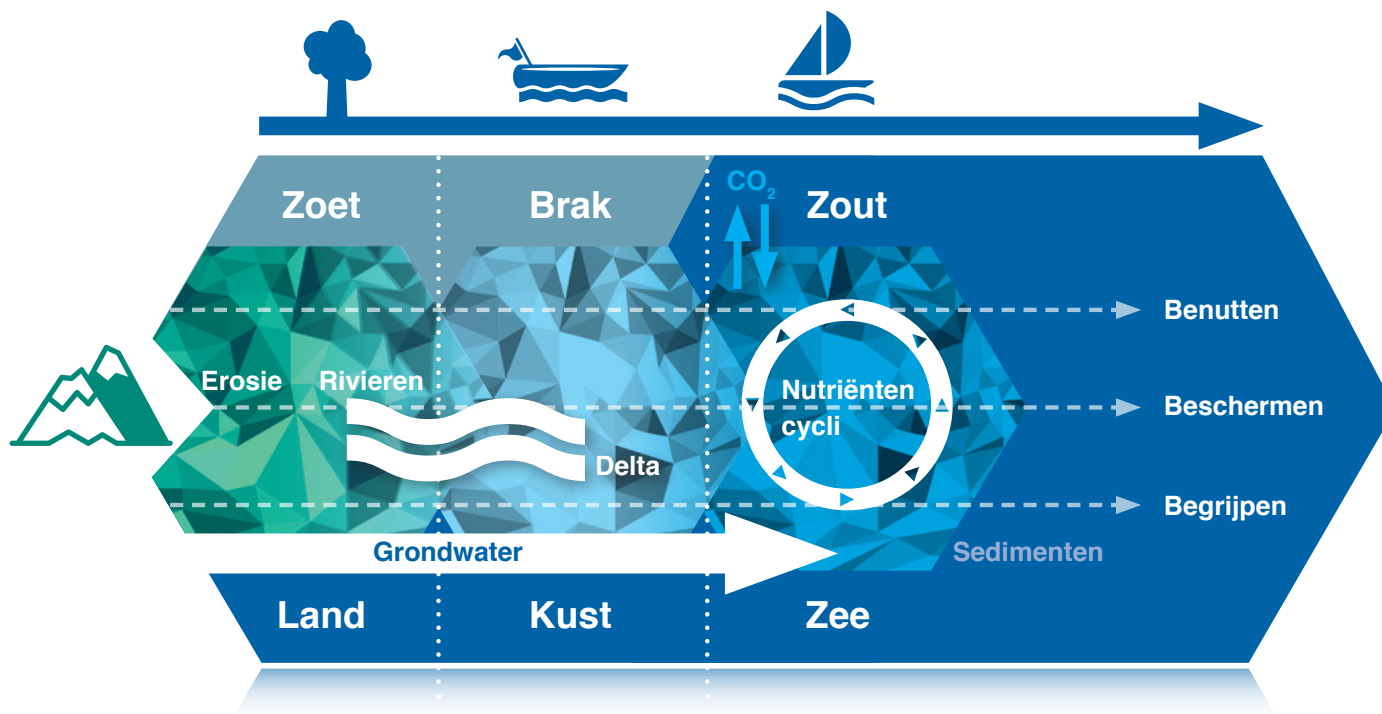
### Water als blauwe weg

*Hoe kunnen CO<sub>2</sub>-neutraal en autonoom varen, samen met een toekomstgerichte inrichting van onze havens en vaarwegen bijdragen aan duurzaam en veilig vervoer?*

Ook voor de toekomst is het water als blauwe weg de belangrijkste route voor transport van goederen naar de mainports van de toekomst. Maar die weg moet wel schoner en veiliger. Het vraagt kennis en technologie op het vlak van hydrodynamica en energiesystemen om tot CO<sub>2</sub>-neutrale schepen te komen. Natuurlijke voortstuwing, bijvoorbeeld door wind, en nieuwe materialen bieden kansen. Autonoom varen is een oplossingsrichting voor het veiliger maken van



## De blauwe route



de scheepvaart en vaarwegen. Daarvoor zijn geavanceerde sensoren, systemen, big-data-analyse en ontwerpmethodieken nodig. Die schepen, vaarwegen, natte kunstwerken en mainports van de toekomst worden niet meer los van hun omgeving gebouwd. Hun invloed op de omgeving in termen van emissies, geluid, of verstoring wordt integraal meegenomen in het ontwerp.

### Leven op het water

*Welke mogelijkheden bieden drijvend wonen, werken, voedselkweken, en energie opwekken in een tijd van zeespiegelstijging, klimaatverandering en ruimtegebrek?*

In een tijd van zeespiegelstijging en overbevolking biedt de zee ruimte en mogelijkheden: we kunnen drijvend wonen op het water, voedsel verbouwen op en in het water, water gebruiken om energie op te wekken en op te slaan, enzovoorts. De technologische uitdagingen hiervan zijn groot: Hoe ontwikkelen we drijvende grote structuren die sterk en veilig zijn in stormen en stroming? Hoe worden deze systemen aan elkaar verbonden? Hoe organiseren we het ver-

keer en vervoer? Tevens bevatten deze vragen een ecologische component: Wat is de invloed van deze grote drijvende leefgemeenschap op, onder of rond het water? Hoe maken we het systeem volledig circulair wat betreft water, energie, grondstoffen en afval?

### Living labs

Al deze perspectieven bieden ruimte voor de *living-lab*-aanpak waarbij wetenschappers, bedrijven, overheden, studenten en burgers concreet samenwerken aan en zelfs samenleven in een nieuwe werkelijkheid. Zo'n *living lab* combineert wetenschappelijke, sociale en technologische innovatie in één programma: er worden nieuwe producten 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, waar universitaire en hogeschoolstudenten actief in 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.



---

# Bouwstenen van materie en fundamentele vragen 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 lengteveranderingen registreren die ooit door de mensheid





zijn gemeten. De Einstein Telescope biedt ongeken-  
de mogelijkheden voor het verrichten van precisiemetin-  
gen in het regime van sterke en dynamische zwaarte-  
krachtvelden. 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 bouw-  
stenen 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, ver-  
bindt alle mogelijke schalen, van de deeltjesfysica tot  
de kosmos. De nieuwe wetten en eigenschappen die  
dit collectieve gedrag beheersen vertonen een opmer-  
kelijke 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 ma-  
nifestaties zijn van dezelfde onderliggende principes,  
maken het essentieel om onderzoekers uit verschil-  
lende wetenschapsgebieden samen te brengen. Om  
dit te bewerkstelligen is een toonaangevend interna-  
tionaal 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 onderzoeks-  
programma's zal DIEP een broedplaats van nieuwe  
ideeën worden, een metaforische snelkookpan waar  
wetenschappers in teamverband werken aan multidiscipli-  
naire emergentievraagstukken. Gezien het belang  
van wiskundige modellering van universele emergen-  
tievverschijnselen 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 ondervertegenwoordigd 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 cryogene 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 en grondstoffenefficiëntie: duurzame circulaire impact

Een duurzame, circulaire economie waarin we grondstoffen volledig hergebruiken, geen afval produceren en alle gebruikte energie duurzaam is opgewekt. Dat is het ideaal van deze route. De circulaire economie levert een bijdrage aan het welvaartspeil van onze samenleving op langere termijn: Hij creëert economische groei, stelt de beschikbaarheid van grondstoffen veilig en vermindert de milieudruk. De overgang naar een duurzame circulaire economie vereist, naast nieuwe technologie, structurele aanpassingen in de manier waarop we onze samenleving vormgeven. Deze route is dan ook bij uitstek multidisciplinair van aard.

Een duurzame 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 duurzame circulaire economie zijn ketens gesloten en optimaal ingericht, onder meer door het circulair ontwerpen van producten en processen. Expliciete voorbeelden van schaarse grondstoffen waarvoor kringloopsluiting vereist is zijn zeldzame metalen voor industriële producten en fosfaaterts voor de landbouw. 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.

## Gamechangers

### Duurzame circulaire impact vanuit een systeemperspectief

De essentie van de overgang naar een duurzame 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 duurzame circulaire economie belemmeren of juist voortstuwten. 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. Hier liggen uitgesproken uitdagingen en kansen voor nieuwe verbindingen en inter- en transdisciplinair onderzoek. Noodzakelijke doorbraken moeten worden gerealiseerd in gezamenlijk onderzoek met bedrijven en overheden. Samenwerking, ook internationaal, is nodig 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 duurzame circulaire economie moeten nog worden ontworpen, ontwikkeld en gerealiseerd, terwijl de goede elementen van de huidige lineaire economie moeten worden geïdentificeerd en behouden.

### Gesloten kringlopen

In een duurzame 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 opwaardering. Componenten worden zo ontworpen dat ze zoveel mogelijk



in hun geheel kunnen worden hergebruikt, en anders in elk geval in delen. Standardisatie 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.

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 materialensysteem moet ook ingezet worden op het gebruik van biomassa, veelvoorkomende elementen en niet-giftige materialen. 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.

In een circulair voedselproductiesysteem worden water-, energie- en nutriëntenkringlopen gesloten op de juiste schaalniveaus, variërend van lokaal tot mondiaal niveau. En de biologische kringloop moet worden verbonden met de technologische kringloop door de ontwikkeling van een duurzame biobased economie, waarin chemicaliën en materialen worden gemaakt uit duurzame biologische bronnen. Hierbij kunnen we nog veel leren van ecologische ketens en cycli en van terugkoppelingsmechanismen en interacties in complexe adaptieve biologische systemen. Deze principes moeten we waar mogelijk toepassen om tot een duurzame circulaire economie te komen.

#### **Duurzame circulaire business innovatie**

In een duurzame circulaire economie, waarbij economische waarde ontstaat in een industrieel netwerk, is duurzaam circulair productontwerp in combinatie met duurzame circulaire businessinnovatie onontbeerlijk. De essentie van een duurzaam circulair *business-*

*model* 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 en in continue balans met inzichten verkregen uit de analyse van de natuur. Deze heroriëntatie wordt mogelijk gemaakt door biologische en technologische kringlopen te sluiten en te verbinden. Deze nieuwe posities vergen voor gebruiksgoederen een andere waardepropositie. 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.

#### **Maatschappelijk begrip en acceptatie**

De implementatie van een duurzame 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 duurzame 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 en





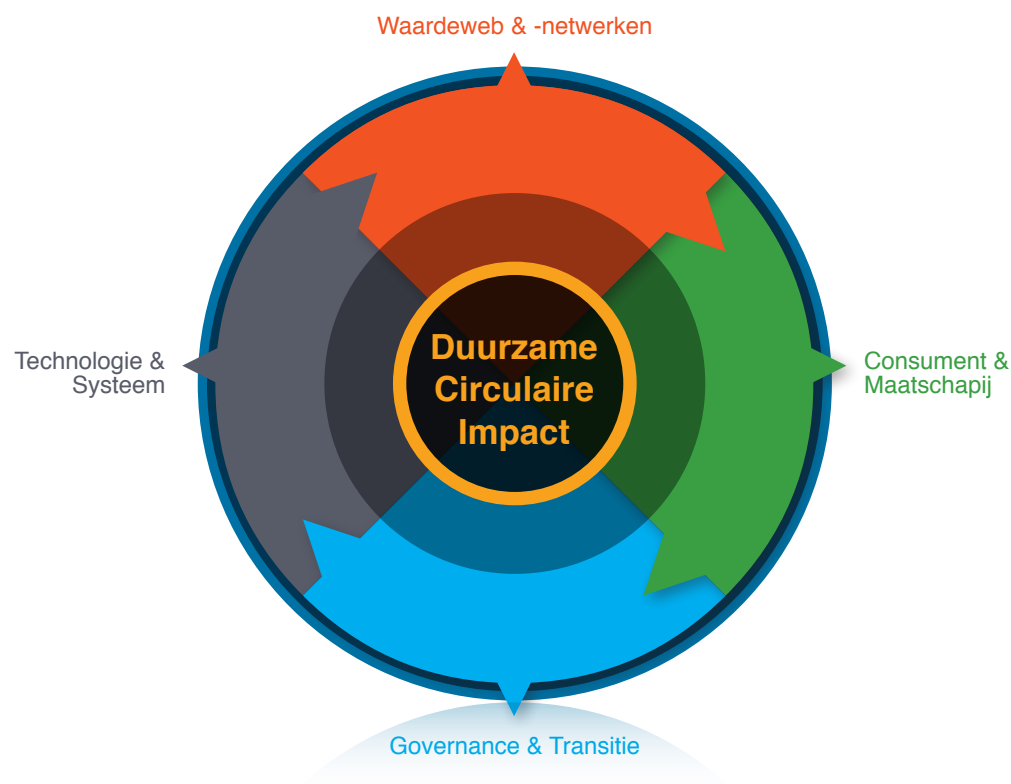
op welk moment is het nodig om gedragsveranderingen te faciliteren of te sturen? Het is van belang inzicht te hebben in de factoren die effectiviteit van beleid bepalen, zodat beleid kan worden geoptimaliseerd en leerervaringen kunnen worden benut. Het effectief organiseren van inspraak en participatie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

### **Consistente beleidscontext**

Het ontwikkelen van een duurzame 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 tijdstermijn. De verschillende stakeholders zullen iteratief en gezamenlijk moeten leren hoe ze het uiteindelijke toekomstbeeld het beste kunnen invullen. Voor het realiseren van een duurzame circulaire economie is een stelselmatige aanpak nodig op alle schaalniveaus. In alle gevallen is samenwerking tussen de schaalniveaus en betrokken partijen een essentiële voorwaarde. Tot op heden is er onvoldoende aandacht voor de schaalaspecten en interacties om tot een duurzame circulaire economie te komen. Daarbij gaat het bijvoorbeeld over de vraag op welke terreinen Europese landen 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 gewenst is. In de huidige praktijk vindt bij het werken aan de duurzame circulaire economie veel vernieuwing plaats op lokaal niveau, vaak door sociale ondernemers. Voor initiatiefnemers en koplopers is het dus



essentieel dat zij kunnen rekenen op een consistente beleidscontext die duurzame circulariteitsdoelen ondersteunt.

### Verbindingen

De wetenschappelijke vraagstukken over duurzame circulaire economie vereisen een interdisciplinaire aanpak, waarbij onderzoekers vanuit alfa-, bèta- en gammadisciplines samenwerken. Nieuwe theorieën moeten worden ontwikkeld en getest. Een multimethodaanpak 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.

In Nederland en ook daarbuiten is een groot aantal partijen bezig de omslag naar een duurzame circulaire economie in de praktijk te realiseren of te versnellen door het concept van de circulaire economie toe te passen bij concrete diensten en producten van bedrijven. Deze route levert het platform voor een intensieve en vruchtbare kruisbestuiving tussen al deze partijen.



# Duurzame productie van gezond en veilig voedsel

In 2050 moeten we ruim 9 miljard mensen zien te voeden die door een stijgende welvaart steeds meer gaan consumeren. En dat terwijl het steeds moeilijker wordt voedsel te produceren: water, essentiële nutriënten en energie worden schaarser. Landbouwgronden raken uitgeput en gaan verloren als gevolg van erosie. Oogsten mislukken vaker en opbrengsten worden lager als gevolg van klimaatverandering. Duurzame, efficiënte en veilige voedselproductie is nodig. We moeten streven naar een geïntegreerd voedselproductiesysteem waarin er niets meer verloren gaat, natuurlijke hulpbronnen worden gespaard, en bodemecologie en biodiversiteit worden versterkt.

De huidige organisatie van de voedselproductie draagt bij aan een ruime beschikbaarheid van kwalitatief goede, betaalbare en veilige producten. Aan de andere kant zorgen schaalvergroting en het streven naar efficiëntie ook voor uitputting van landbouwgronden, hoog gebruik van gewasbeschermingsmiddelen, verlies van natuur en biodiversiteit en verarming van rurale gebieden.

Het vertrouwen van de consument in de voedselsector is relatief laag. Dit komt onder meer door gebrek aan transparantie en het feit dat veel consumenten geen zicht meer hebben op de oorsprong van wat ze eten. Ook heeft het overaanbod van goedkoop, hoogcalorisch voedsel bijgedragen aan de toename van dieetgerelateerde ziekten als diabetes type II en hart- en vaatziekten.

## Noodzakelijke transformatie

Vanuit het oogpunt van duurzaamheid en betrokkenheid van de consument is er veel te verbeteren aan de huidige organisatie van de mondiale voedselproductie. De huidige wijze van produceren is niet in staat op een duurzame wijze de groeiende wereldbevolking te voorzien van betaalbare, gezonde en veilige voeding. Voor de oplossing van dit probleem moeten we een grensverleggende systeemverandering nastreven gestoeld op nieuwe basisprincipes en waarin de consument een volwaardige rol speelt. Dit systeem moet op zijn beurt in staat zijn samen te werken met andere systemen, zoals bio-energie en bio-raffinage. In zo'n geïntegreerd voedselproductiesysteem gaat er niets

meer verloren, worden natuurlijke hulpbronnen gespaard en bodemecologie en biodiversiteit versterkt. Alleen zo'n systeem zal voldoende robuust zijn om ook komende generaties van voldoende hoogwaardige voeding te kunnen voorzien. In dit systeem kunnen goedgeïnformeerde consumenten verantwoorde keuzes voor voeding maken, afgestemd op hun leefstijl en levensfase.

Deze transformatie vereist een combinatie van organisatorische, sociaal-maatschappelijke en technologische vernieuwingen, die mogelijk worden gemaakt door zeven gamechangers.

Wereldwijd wordt Nederland aangesproken als hét voorbeeld van Kennis en Innovatie op het gebied van voedselproductie en voeding. De sectoren Tuinbouw & Uitgangsmaterialen en AgriFood behoren tot de wereldtop qua wetenschappelijke impact en samenwerking met het bedrijfsleven. Samen met sterke productiesectoren én de zeer goed ontwikkelde academische kennisinfrastructuur heeft dit krachtige complex een positie als wereldmarktleider op het gebied van productietechnologie en uitgangsmaterialen. Als geen ander kan Nederland aan deze gamechangers werken. Juist onze hoogproductieve Nederlandse sectoren lopen tegen grenzen aan wat betreft duurzaamheid in ons dichtbevolkte, urbane gebied. Al deze factoren samen maken Nederland dé ideale proeftuin om als voorloper resultaten te bereiken op het gebied van deze route, en nieuwe oplossingen te exporteren.



## Gamechangers

### De keuzebekwame consument

Er bestaat een immense verwarring over gezonde, veilige en duurzame voeding: Wat doet voeding met mij en de wereld, nu en in de toekomst? Verkeerde of overmatige voeding leidt bij grote delen van de bevolking tot gezondheidsschade. Het zelfstandig kunnen maken van de juiste keuzes vraagt veel van de consument. Wat gezond en veilig is voor de één, is minder gezond en veilig voor de ander, afhankelijk van bijvoorbeeld levensfase, mate van gezondheid en bewegingspatroon. Daarnaast zit er ook een grote onbegrepen irrationele kant aan ons keuzegedrag. Dit probleem kan alleen opgelost worden als we weten hoe deze individuele keuzes gemaakt zouden moeten worden en als de consument beter in staat is verantwoorde keuzes te maken met betrekking tot voedsel in relatie tot levensstijl en levensfase en met betrekking tot voedselveiligheid. Beter begrip van het menselijke keuzegedrag en de menselijke risico-perceptie is hiervoor nodig. Daarnaast moeten we technologie ontwikkelen die de consument in staat stelt de gevolgen van zijn acties direct in te zien, waardoor hij bewuste, gemotiveerde en geïnformeerde keuzes gaat maken.

### Kringlopen sluiten

De land- en tuinbouw zijn verantwoordelijk voor zeventig procent van het zoetwatergebruik. Daarnaast is deze keten verantwoordelijk voor ongeveer dertig procent van de wereldwijde energieconsumptie. De huidige organisatie van de voedselproductie leidt bovendien tot uitputting en verspilling van grondstoffen, uitputting van landbouwgronden en verlies van biodiversiteit. Een radicale omschakeling van lineaire naar circulaire voedselproductiesystemen is noodzakelijk. Dit kunnen we bereiken door het zoveel mogelijk sluiten van water-, energie- en nutriëntenkringlopen op de juiste schaalniveaus, variërend van lokaal tot mondiaal niveau. Daarvoor is een geïntegreerde benadering nodig vanuit de akkerbouw, veehouderij en tuinbouw, water, energie en chemische sectoren. Deze benadering moet gebruikmaken van proeftuinen of *living labs*, waarin wetenschappelijke onderzoeksinstellingen, overheden, bedrijfsleven, boeren-, milieu-

en consumentenorganisaties gezamenlijk zoeken naar concrete strategieën voor de transitie naar circulaire productie- en voedselverwerkingsmethoden die breed toepasbaar zijn in en buiten Nederland.

### Biodivers groen

De sterke focus op productie-efficiëntie in de land- en tuinbouw heeft geleid tot een toegenomen kwetsbaarheid en instabiliteit van productiesystemen met steeds meer calamiteiten en corrigerende ingrepen van buitenaf tot gevolg. Deze ingrepen zijn gerelateerd aan de afname van genetische diversiteit, ziektes en plagen die ook humane gezondheidsrisico's met zich kunnen meebrengen, toename van stressfactoren, zoals klimaatverandering en een sterk afgenomen bodemkwaliteit.

We moeten onze productiesystemen meer weerbaar maken. Dit kan alleen als we biodiversiteit als uitgangspunt nemen op de diverse niveaus van ons productiesysteem, waardoor een weerbaar productie-ecosysteem ontstaat. Daarbij gaat het om het benutten van in de natuur aanwezige genetische eigenschappen, het benutten van de vele helperfuncties van het microbiom in en rondom plant en dier en nieuwe teelt- en houderijsystemen, zoals de overgang van monocultuur naar het verbouwen van verschillende gewassen op hetzelfde stuk grond met behulp van precisiemechanisatie.

### Biodivers blauw

Voedsel uit zee, zoals vis, schelp- en schaaldieren en zeewier, is hoogwaardig en eiwitrijk. Vis is nu al de belangrijkste eiwitbron in dichtbevolkte kustgebieden van diverse ontwikkelingslanden. Als gevolg van overbevissing en verontreiniging staat dit ecosysteem echter sterk onder druk. We moeten dit productiesysteem meer weerbaar maken. Dit vereist het ontwikkelen van nieuwe geïntegreerde concepten voor duurzame productie van vis, schaal- en schelpdieren, en algen en wieren in de ondiepe continentale delen van zeeën en oceanen. Daarbij gaat het bijvoorbeeld om combinaties met duurzame energieproductie via windparken op zee en natuurlijke kustverdedigingssystemen. Deze aanpak zal leiden tot nieuwe geïntegreerde





productiemethoden van voedsel en biobased grondstoffen uit zee, die toepasbaar zijn in Nederland en in andere kustgebieden wereldwijd.

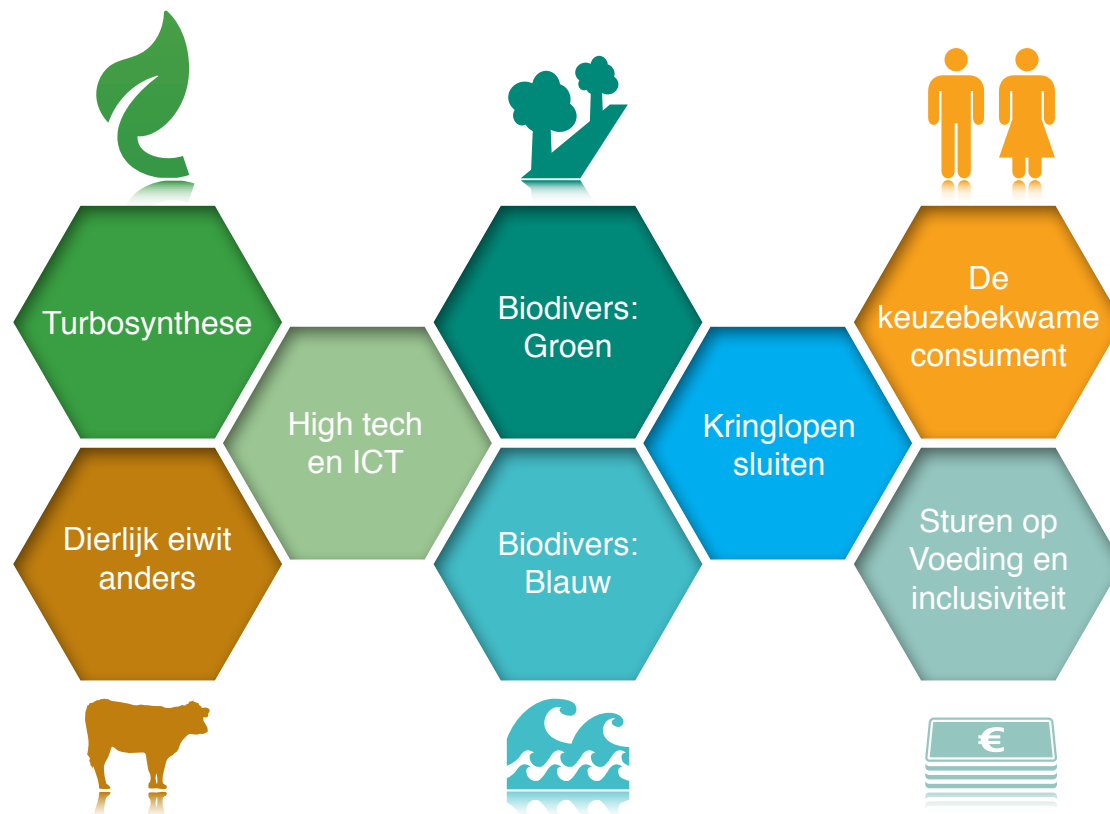
### **Hightech en ICT**

De ambities van 'beter en meer met minder' kunnen we realiseren als we de Nederlandse wetenschappelijke en industriële sterktes op het gebied van land- en tuinbouw en voeding combineren met die op het gebied van Hightech en ICT. Met kleine robots wordt het mogelijk meerdere gewassen door elkaar heen te telen en separaat te oogsten. Door beter te meten en slimme data-analyse kunnen we meer op maat sturen om efficiënter te werken en de opbrengst en kwaliteit van producten sterk te verbeteren. Tevens kunnen we de consument direct inzicht geven in de voedselketen en zijn keuzebekwaamheid ondersteunen.

### **Turbosynthese**

De fotosynthese in onze voedselgewassen draait maar op een bijzonder laag pitje, waardoor in de landbouw gemiddeld slechts 0,5 procent van het invallende zonlicht wordt omgezet in plantaardige biomassa, en dus in voedsel. In de natuur komen echter planten voor die tot tien keer efficiënter met zonlicht omgaan. Er is een fundamentele aanpak nodig om op te helderen hoe deze planten dit precies doen. Met een beter begrip van de fotosynthese kunnen we voedselgewassen ontwikkelen die bij een gelijkblijvende toevoer van water en mineralen, zelfs onder extreme condities als hitte, droogte en tekort aan mineralen een sterk verhoogde opbrengst geven: turbosynthese.





### Dierlijk eiwit anders

Mensen hebben eiwitten nodig in hun dagelijks dieet om gezond te zijn en te blijven. Met de toenemende bevolking en welvaart in de wereld neemt de vraag naar hoogwaardige eiwitten snel toe. Deze gamechanger voorziet de ontwikkeling van een eiwitproducerend platform voor de mondiale eiwitproductie, radicaal anders dan de bestaande landbouw, veeteelt of visserij. Kern van deze gamechanger is de combinatie van kennis van dierlijke eiwitten met kennis over eiwitsynthese, vouwing, transport en opslag; kennis van efficiënte productiesystemen; kennis van opschaling, opwerking en verwerking; en kennis over veiligheid en acceptatie door de consument. Op deze wijze ontstaat een eiwitproducerend platform dat vraaggestuurd duurzaam en efficiënt het juiste aminozuur, peptide of eiwitpatroon produceert, in elke gewenste hoeveelheid of verschijningsvorm, op elke plaats in de wereld. Het eindproduct sluit exact aan op de wens van de consument. 'Dierlijk eiwit anders' lost zo veel problemen op die het gevolg zijn van de huidige, inefficiënte, alternatieven.

### Sturen op voeding en inclusiviteit

De robuustheid van het wereldvoedingssysteem wordt bepaald door vele factoren, waaronder efficiënt gebruik van natuurlijke hulpbronnen als bodem,

water, mineralen en arbeid, en weerstand tegen ziekten en plagen. Daarnaast spelen ook handel, prijsvorming en logistiek, en maatschappelijke factoren als ongelijkheid, regelgeving, verstedelijking en educatie een belangrijke rol. Hoe deze factoren de werking van het wereldvoedingssysteem beïnvloeden, varieert sterk van land tot land en van regio tot regio.

Door de focus op gezonde en duurzame voeding te leggen en niet slecht voedsel te kiezen en de governance van het mondiale voedingssysteem onder de loep te nemen, draagt dit onderwerp opschaalbare oplossingen aan om productie, verwerking, distributie en toegang tot voeding in onderlinge samenhang efficiënter, effectiever en eerlijker te maken. Deze sectoroverstijgende aanpak is een belangrijk deel van de oplossing omdat zij niet alleen nieuwe mogelijkheden ontwikkelt, maar ook de synergie versterkt tussen deeloplossingen afkomstig uit andere vakgebieden, rekening houdend met wereldwijd sterk wisselende natuurlijke en sociaal-economische omstandigheden.

# Energietransitie

**Bouwen aan een duurzame en zekere energievoorziening en een sterke, groene kenniseconomie; dat is het doel van deze route. Om de mondiale temperatuurstijging ruim onder de 2° Celsius te kunnen houden en energiezekerheid te kunnen garanderen, 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 natuurwetenschappen, 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 *“Mission Innovation: Accelerating the Clean Energy Revolution”*, een initiatief van landen die de transitie willen versnellen en daarover op de COP21 klimaatconferentie in Parijs afspraken hebben gemaakt.

## 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 uitdrukkelijk 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub> 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 omzettingsrendement 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**

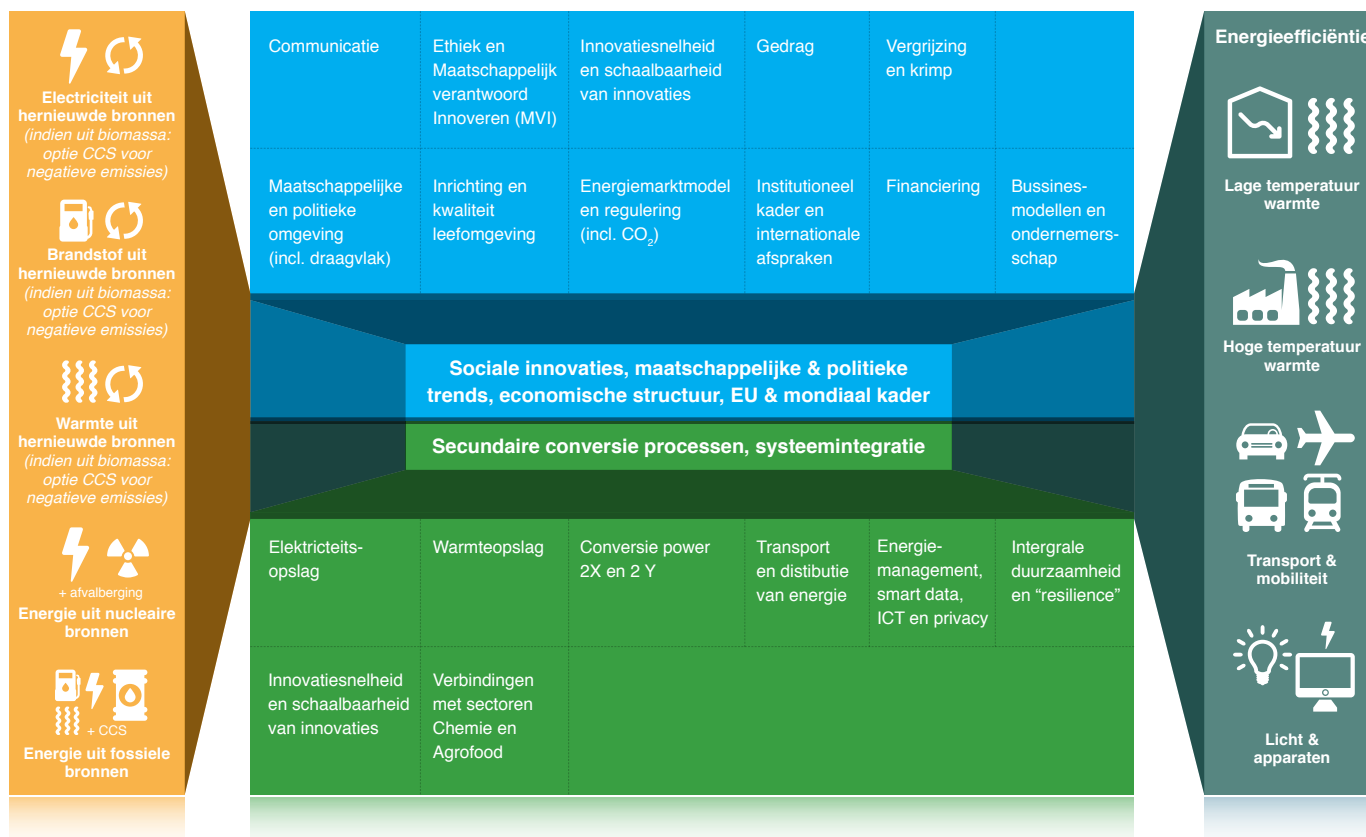
Delen van de transportsector, zoals luchtvaart en vrachtvervoer, en van de industrie zijn afhankelijk van brandstoffen met hoge energiedichtheid en van hoge-temperatuurwarmte (met name warmte hoger dan 100 -120 °C nodig voor chemische processen). Om deze sectoren te verduurzamen zijn schaalbare, goedkope en efficiënte chemische processen nodig die elektrische energie met behulp van biomassa, afgevangen CO<sub>2</sub>, 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 het toekomstige energiesysteem variëren vraag en aanbod van energie 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 CO<sub>2</sub> 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 daarbuiten worden vergroot, zodat negatieve effecten proactief beperkt kunnen worden. Een effectieve communicatie over de resultaten met alle betrokkenen is hierbij onontbeerlijk.



### Snel naar een CO<sub>2</sub>-neutrale maatschappij

Het volledige omschakelen naar een CO<sub>2</sub>-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 verkrijgen van de benodigde investeringen voor de transitie naar een duurzaam energiesysteem. Een belangrijke vraag hierbij is hoe we effectieve prikkels kunnen genereren om efficiënt en duurzaam energiegebruik te stimuleren en emissies te verlagen. Goed onderbouwde beleidskeuzes en een effectieve interactie tussen burgers, de publieke en de private sector zijn hiervoor essentieel. Bijzondere aandacht is nodig voor mogelijkheden om negatieve CO<sub>2</sub>-emissies te realiseren en zo de overschakeling naar een CO<sub>2</sub>-neutraal energiesysteem verder te versnellen.

### Een CO<sub>2</sub>-neutrale samenleving is anders

Een CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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'.



---

# Gezondheidszorgonderzoek, preventie en behandeling

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, is noodzakelijk om de zorg toekomstbestendig te maken.

Binnen deze route zijn vier gamechangers te onderscheiden:

## Een nieuwe kijk, een nieuw wetenschappelijk paradigma

Gezondheid moeten we op de eerste plaats gaan zien als voorwaarde om de dingen te doen die een mens belangrijk vindt: meedoen, functioneren, je eigen leven leiden. Dat is een andere, bredere visie dan het heersende biomedische model waarin ziekten centraal staan. We moeten streven naar het bevorderen van 'positieve gezondheid', waarbij de wensen, waarden en voorkeuren van het individu richtinggevend zijn. Positieve gezondheid betekent niet alleen een focus op wat iemand met een ziekte nog kan, maar ook op de ervaren kwaliteit van leven en de mate waarin iemand kan participeren in de samenleving.

Om positieve gezondheid te kunnen realiseren, moeten we veel meer dan nu oog hebben voor de variatie tussen individuen. Variatie in normen, waarden en doelen; maar ook in leefstijl, gedrag, omgeving, erfelijke aanleg; en vooral in de reactie van het lichaam op gezonde en ziekmakende prikkels.



De biomedische definities van 'gezond' en 'ziek' komen maar ten dele overeen met persoonlijke ervaringen. Zo zijn er veel mensen met bekende aandoeningen die zich prima voelen en maatschappelijk gewoon meedoen. Aan de andere kant voelen velen zich ziek, terwijl daar geen objectieve biomedische oorzaak voor gevonden kan worden.

Om zo'n nieuwe benadering mogelijk te maken, hebben professionals andere, aanvullende kennis nodig. De grote vergelijkende studies waarop de huidige geneeskunde gebaseerd is, zijn en blijven van waarde, maar kunnen niet alle kennis opleveren die relevant is voor het individu. Ook ontbreekt het voor veel aandoeningen nog aan valide en gevoelige metingen om de uitkomst te meten en te voorspellen. In aanvulling op bestaande methodologie zijn nieuwe onderzoeksmethoden en uitkomstmaten nodig. Waar onze huidige concepten van ziek en gezond niet voldoen, zijn nieuwe instrumenten nodig die 'meten wat er gemeten zou moeten worden'. Essentieel voor het gezondheidsonderzoek van de toekomst is een brede, interdisciplinaire benadering, waarbij ook de inbreng van burgers/patiënten, organisaties en co-financiers een belangrijke rol zal spelen.

### **Investeren in preventie**

Voor een gezonde toekomst van de samenleving en een betaalbare gezondheidszorg, is effectieve 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 leefstijlgerelateerde 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.

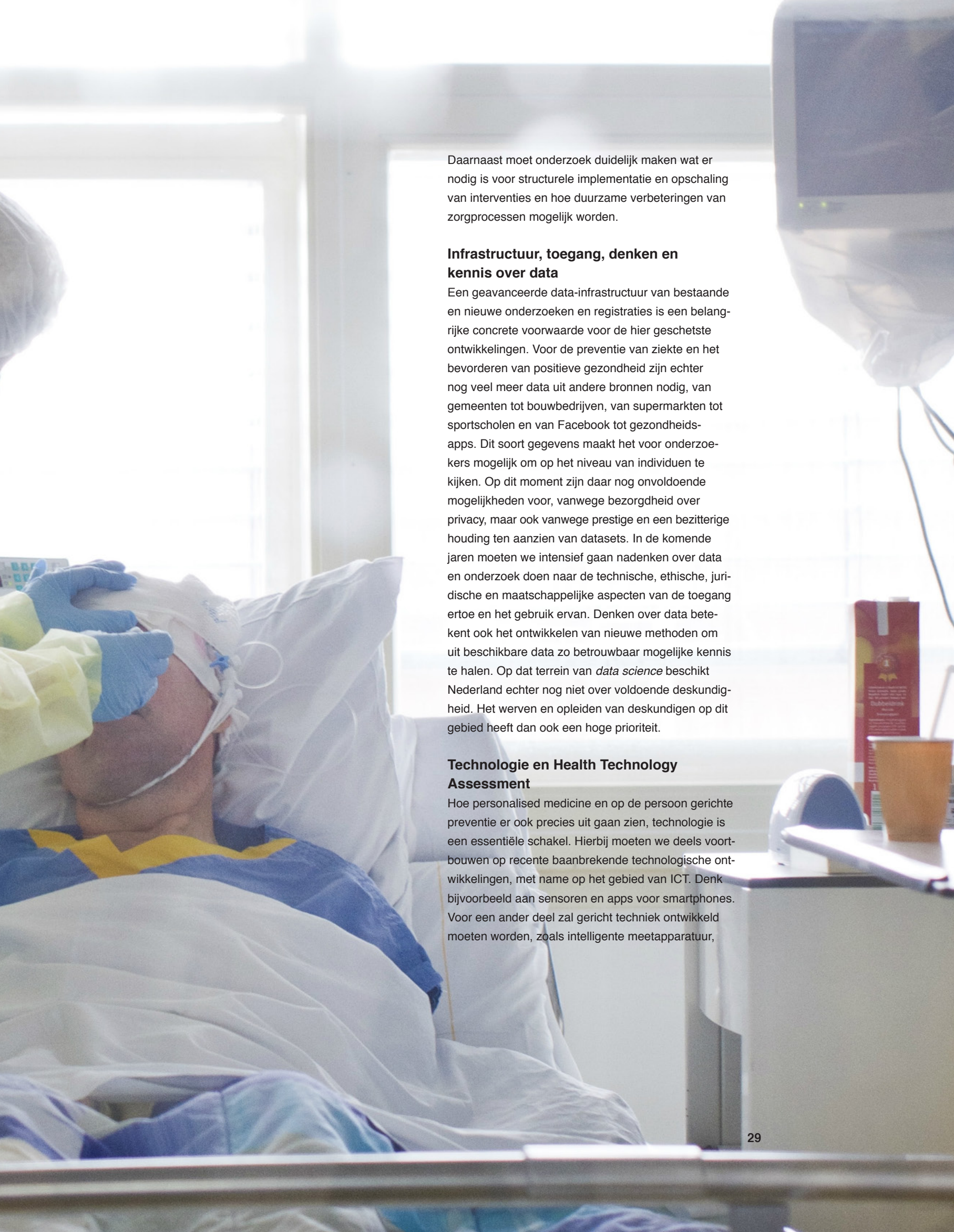
### **Nieuwe kijk op behandeling: persoonsgericht en regeneratief**

Om de zorg voor patiënten met chronische ziekten betaalbaar en uitvoerbaar te houden, zijn nieuwe benaderingen nodig, zoals *personalised medicine* en regeneratieve geneeskunde. *Personalised medicine* moet leiden tot veiligere, effectievere zorg, doordat men niet langer uitgaat van de gemiddelde patiënt maar van het individu. Regeneratieve geneeskunde, het herstellen van beschadigde weefsels door ze terug te laten groeien, brengt de belofte met zich mee dat sommige veelvoorkomende chronische ziekten daadwerkelijk genezen kunnen worden, met potentieel enorme winst in termen van kwaliteit van leven, maar ook in termen van besparingen in geld en het benodigde personeel.

### **De zorg onderzoeken**

Gericht onderzoek op het gebied van 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.





Daarnaast moet onderzoek duidelijk maken wat er nodig is voor structurele implementatie en opschaling van interventies en hoe duurzame verbeteringen van zorgprocessen mogelijk worden.

### **Infrastructuur, toegang, denken en kennis over data**

Een geavanceerde data-infrastructuur van bestaande en nieuwe onderzoeken en registraties is een belangrijke concrete voorwaarde voor de hier geschetste ontwikkelingen. Voor de preventie van ziekte en het bevorderen van positieve gezondheid zijn echter nog veel meer data uit andere bronnen nodig, van gemeenten tot bouwbedrijven, van supermarkten tot sportscholen en van Facebook tot gezondheids-apps. Dit soort gegevens maakt het voor onderzoekers mogelijk om op het niveau van individuen te kijken. Op dit moment zijn daar nog onvoldoende mogelijkheden voor, vanwege bezorgdheid over privacy, maar ook vanwege prestige en een bezitterige houding ten aanzien van datasets. In de komende jaren moeten we intensief gaan nadenken over data en onderzoek doen naar de technische, ethische, juridische en maatschappelijke aspecten van de toegang ertoe en het gebruik ervan. Denken over data betekent ook het ontwikkelen van nieuwe methoden om uit beschikbare data zo betrouwbaar mogelijke kennis te halen. Op dat terrein van *data science* beschikt Nederland echter nog niet over voldoende deskundigheid. Het werven en opleiden van deskundigen op dit gebied heeft dan ook een hoge prioriteit.

### **Technologie en Health Technology Assessment**

Hoe personalised medicine en op de persoon gerichte preventie er ook precies uit gaan zien, technologie is een essentiële schakel. Hierbij moeten we deels voortbouwen op recente baanbrekende technologische ontwikkelingen, met name op het gebied van ICT. Denk bijvoorbeeld aan sensoren en apps voor smartphones. Voor een ander deel zal gericht techniek ontwikkeld moeten worden, zoals intelligente meetapparatuur,

*labs-on-a-chip*, nanomedicine en technologieën op het terrein van onder andere genomics, *metabolomics* en *proteomics*.

Het ontwikkelen van nieuwe technologische toepassingen is een gezamenlijke taak voor wetenschap en bedrijfsleven. Essentieel voor de succesvolle implementatie van techniek is de menselijke factor; professionals en andere gebruikers zoals patiënten moeten dan ook bijtijds kunnen meedenken. Daarnaast zal de evaluatie van technische toepassingen nodig zijn om de kwaliteit te waarborgen en te voorkomen dat technische ontwikkelingen leiden tot nodeloze kostenstijgingen. De methoden voor evaluatie van technologie en het bepalen van (kosten)effectiviteit (*Health Technology Assessment*, HTA) zullen mee moeten innoveren met veranderingen in zorgvraag en -aanbod.

### **Nieuwe vormen van samenwerking**

Wie is beter in staat de epidemie van diabetes, artrose en andere overgewichtgerelateerde ziekten aan te pakken: de dokter, de gymnastiekleraar, de eigenaar van de supermarkt of de stedenbouwkundige? Kunnen we zulke uiteenlopende benaderingen met elkaar vergelijken en in verband brengen? Zeker is in elk geval dat er originele nieuwe vormen van samenwerking, onderzoeksontwerp en data-analyse nodig zijn voor echt effectieve preventie, voor *personalised medicine* en regeneratieve geneeskunde 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, zullen uitgebreid en verbreed moeten worden. Het inrichten van onconventioneel samengestelde teams, trans-institutionele initiatieven en het doorbreken van belemmerende conventionele grenzen tussen disciplines en financieringsbronnen is van belang. Mogelijkheden voor co-creatie, met patiënten, bedrijven en andere

stakeholders die nu nog niet vanzelfsprekend mee aan tafel zitten, moeten worden verkend. Vernieuwing betekent ook afstand doen van het oude. Daarom moeten ook ineffectieve of zelfs schadelijke vormen van wetenschap in kaart worden gebracht. Daarnaast moeten we, als we nieuwe richtingen ontdekken, ook op tijd afscheid kunnen nemen van oude.

### **Financiering en nieuwe financieringsvormen**

Om de zorg toekomstbestendig te maken is een forse investering nodig, met name op het gebied van preventie. Traditioneel zijn investeringen in preventie-onderzoek bescheiden ten opzichte van de totale kosten van de zorg. Dit moet meer in balans worden gebracht. De nieuwe wetenschappelijke kijk op preventie, behandeling en zorg moet gevolgen hebben voor de opzet en financiering van onderzoeksprogramma's. In de komende jaren kan al geëxperimenteerd worden met nieuwe vormen, waarbij interdisciplinaire samenwerking beloond wordt en belemmerende prikkels worden weggenomen. Nieuwe vormen van samenwerking en integratie tussen financiers moeten worden onderzocht. Soms zijn daarvoor aanpassingen nodig van regels, 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.

### **Naar de toekomst**

Deze route pleit voor de formatie van een interdisciplinaire Taskforce, waarin naast biomedische en sociaalwetenschappelijke deskundigen op het gebied van preventie en behandeling ook ruimte zal zijn voor vertegenwoordigers van andere disciplines en sectoren, zoals stedenbouw, data sciences, marketing, en *e-health*. Deze Taskforce zal bestaande initiatieven inventariseren en met elkaar in verband brengen, en een onderbouwing, uitwerking en bestedingsplan opstellen voor de vereiste investeringen.



# Jeugd in ontwikkeling, opvoeding en onderwijs

**De 21e 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. Door de jeugd als speerpunt te nemen, investeren we in nieuw onderzoek 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 onderwijs, de sleutel tot succes op vele gebieden van menselijk functioneren. Zo kan een significante reductie van maatschappelijke kosten bereikt worden, 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 toekomstig 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 actief bij te dragen aan hun motivatie om te leren en aan integratie van verschillende leefwerelden? 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 scholen en lerarenopleidingen en van pedagogische organisaties en opleidingen? 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 intergenerationele overdracht van achterstand en risico, uiteenlopend van







laaggeletterdheid tot kindermishandeling. Daarnaast is onderzoek nodig hoe deze overdracht doorbroken kan worden. 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, moeten bestudeerd worden.

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.



### **Normativiteit van opvoeding en onderwijs**

Waar toe 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, worden altijd vanuit een bepaald perspectief gedaan. De onderliggende normen en doelen van opvoeding en onderwijs zijn echter zelf zelden expliciet onderwerp van discussie of bestudering in praktijk en onderzoek. Theoretisch onderzoek is noodzakelijk om nieuwe opvoedings- en onderwijsdoelen te funderen. Empirisch onderzoek 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? Worden de belangen en rechten van kinderen in beleid en praktijk van opvoeding, onderwijs en begeleiding voldoende gewaarborgd? Bieden de huidige pedagogische en onderwijskundige kaders voldoende houvast voor ouders, leraren en andere professionals? Hoe kunnen we de jeugd betrekken bij de vraag wat voor henzelf van belang is voor hun toekomst? Dergelijke vragen 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. Deze verschillende typen onderzoek worden verbonden door de expliciete aandacht voor de toepasbaarheid van wetenschappelijke inzichten in de concrete praktijk van opvoeding, onderwijs, jeugdzorg en de gezondheidszorg. 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. Daarnaast worden disciplines betrokken die zich van oudsher minder met jeugd bezighouden, maar wel cruciaal zijn voor een integratieve aanpak, zoals bestuurskunde, veranderkunde en planologie.

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. Minstens zo belangrijk is de betrokkenheid van de opleiders van deze professionals. De uitwisseling tussen wetenschap en praktijk kan zorgen voor een betere aansluiting van onderzoek bij de behoeften en expertise in de samenleving. Daarnaast onderstreept deze route het belang van samenwerking van wetenschappers met de lokale en nationale overheid, belangenverenigingen, toezichthouders, het bedrijfsleven, de ICT en de media.

### **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, bijvoorbeeld in de vorm van academische werkplaatsen die op deze gamechangers gericht zijn. Om ten slotte te kunnen achterhalen of interventies die onder andere in deze samenwerkingsverbanden worden ontwikkeld daadwerkelijk resultaat hebben, is het noodzakelijk om ook effectonderzoek uit te voeren. Dit type onderzoek zal resulteren in een inventarisatie van de werkzame factoren die ook in de praktijk bruikbaar zijn. Dit vergroot de impact van de route aanzienlijk.

Bovenstaande acties kunnen voortbouwen op bestaande structuren, die dan wel verstevigd moeten worden. Hierbij valt te denken aan een uitbouw van de samenwerkingen vanuit de universiteiten en hogescholen op plaatselijk en regionaal niveau. Daarnaast moet met behulp van NWO en het Nationaal Regieorgaan Onderwijsonderzoek een nationale infrastructuur worden opgetuigd die nationale programmafinanciering vanuit interdisciplinair perspectief en nieuwe vormen van kennisbenutting mogelijk maakt. 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 in essentie in de jeugd beginnen, en vragen om een meer integraal perspectief. Zo ontstaat zicht op wat de jeugd nodig heeft in opvoeding en onderwijs voor een optimale ontwikkeling en positieve bijdrage aan de samenleving.



# Kunst: onderzoek en innovatie in de 21<sup>ste</sup> 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 ontwerponderzoek 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(be)grijpbaarder 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 21ste 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, opvoeringen 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 binnenschoolse educatie. En 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 contexten. 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 verbanden, 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.



# Kwaliteit van de omgeving

**Een goed functionerende leefomgeving is essentieel voor welvaart, welzijn en gezondheid. Onze omgeving vormt de bron voor schone lucht, gezond voedsel, voldoende schoon water en vele andere natuurlijke hulpbronnen. De omgeving creëert ook woon-, werk- en recreatiemogelijkheden, en de beleving ervan draagt bij aan geluk en gezondheid. Om effectief te kunnen anticiperen op veranderingen in onze leefomgeving, moeten we al deze factoren en de wisselwerkingen daartussen begrijpen, en de verbondenheid van individuen en groepen met hun omgeving in kaart brengen.**

Onze huidige manier van produceren en consumeren, waarbij grondstoffen en producten steeds vaker mondiaal worden verscheept, kunnen we alleen volhouden als we de problemen die daardoor ontstaan afwentelen op andere gebieden en toekomstige generaties. Dit gaat lang goed, maar het socio-ecologische systeem wordt steeds kwetsbaarder.

Duurzame oplossingen vergen een goede wetenschappelijke onderbouwing van de vele aspecten van omgevingskwaliteit in hun onderlinge samenhang en afhankelijkheid. Het verbinden van al deze aspecten 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.

De kern van zo'n wetenschappelijke benadering wordt gevormd door een breed integratief kader dat allerlei activiteiten, processen en hun interacties langs verschillende dimensies en de daarbij horende schaalniveaus combineert. Zo'n kader moet worden opgezet met input van experts uit natuur-, mens- en maatschappijwetenschappen en zal direct worden getoetst aan en verder ontwikkeld worden in realistische *living labs*. Dit zijn kennisgerichte gebiedscollectieven waarin overheden, bedrijven, NGO's, particulieren en kennisinstellingen samenwerken om tot nieuwe oplossingen te komen voor duurzaam ruimtegebruik, dat niet conflicteert met de huidige omgevingscondities. Vier potentiële gamechangers;


## Natuur-inclusieve samenlevingen

Het duurzaam benutten van onze natuurlijke hulpbronnen en tegelijkertijd de natuur beschermen is en blijft een uitdaging. Hoe verbind je natuur met burgers en andere belanghebbenden? Als je een ombuiging wilt bewerkstelligen in de samenleving, hoe stuur je dan bedrijven en hele sectoren naar een meer duurzame benutting van natuurlijk kapitaal? Hoe creëer je draagvlak voor op de natuur gebaseerde oplossingen bij degenen die de leefomgeving vorm geven? Welke vormen van sturing zijn effectief en gelegitimeerd? 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? Al deze vragen over meer duurzame natuur-inclusieve samenlevingen moeten worden beantwoord door transdisciplinair onderzoek waarin communicatiewetenschappen een centrale rol spelen.

## Landschap en duurzaam ruimtegebruik in een snel veranderende omgeving

Landschap is een gebied dat het resultaat is van de dynamische interactie tussen natuur en cultuur. Landschap is cultureel erfgoed en automatisch ook het speelveld van nieuwe ingrepen. Ruimtelijke opgaven vereisen onderzoek dat niet alleen is gericht op inventarisatie en analyse, maar ook op het ontwerpen en herleiden van de potenties van het





landschap en de interactie tussen landschap, natuur, welzijn en gezondheid. 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 worden gericht 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.

Soms kunnen meerdere ecosystemendiensten 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 ecosystemendiensten, schaalafhankelijkheid, veerkracht, behoud en herstel van soorten en functionele biodiversiteit, gemeenschappen en ecosystemen, en koppeling van ecologische, aardwetenschappelijke, sociologische en economische benaderingen. In de *living labs* kunnen innovatieve oplossingen voor duurzaam ruimtegebruik worden ontwikkeld. Deze *living labs* spelen een grote rol bij de 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.

### **Leefomgeving en gezondheid: het exposoom**

Wat zijn de gezondheidseffecten van gecombineerde blootstelling aan meerdere omgevingsfactoren, zoals luchtverontreiniging, elektromagnetische velden, geluid, bestrijdingsmiddelen, hormoon-verstorende

stoffen en hitte? Hoe beïnvloeden landschapsfactoren gezondheid? En verschilt dat nog, afhankelijk van de levensfase? Onderzoek heeft tot nu toe vooral naar afzonderlijke factoren gekeken. Met kennis over gecombineerde blootstelling wordt het voor het eerst mogelijk om preventiemogelijkheden voor deze gecombineerde gezondheidseffecten te ontwikkelen. De wetenschappelijke uitdaging is om grote hoeveelheden uiteenlopende soorten gegevens te integreren, zodat er praktisch bruikbare conclusies uitkomen. De leefomgeving heeft grote invloed op onze gezondheid. In Nederland kan 12 procent van de sterfte toegeschreven worden aan milieufactoren, zoals fijnstof. De effecten van cumulatieve blootstelling gedurende de gehele levensloop en aan combinaties van verschillende milieufactoren zijn niet goed bekend. Om deze lacune te onderzoeken, is het revolutionaire begrip 'exposoom' uitgewerkt. De belangrijkste noodzakelijke vernieuwing is het integraal karakteriseren van de inwendige en uitwendige blootstelling van individuen aan een veelheid van omgevingsfactoren gedurende hun gehele levensloop. Het exposoom integreert al deze factoren. Nieuwe sensortechnieken met een hoge dekkingsgraad, ruimtelijke modellen, apps en de snelle ontwikkeling van diverse vakgebieden zoals genomics, metabolomics en proteomics maken het steeds beter mogelijk om dit concept in de praktijk toe te passen. Ook diverse vormen van *citizen science* kunnen hieraan bijdragen.

### **Veerkracht als verbindend concept voor socio-ecologische systemen**

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 incasseringsvermogen 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 moet worden ontwik-





keld 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 transdisciplinair en wordt uitgevoerd in *living labs*. Naast wetenschappelijke disciplines moeten ook maatschappelijke partijen zoals overheden, maatschappelijke organisaties, natuurbescherming, brancheverenigingen en burgerinitiatieven meedenken over systeemoplossingen die aansluiten bij hun praktijk.

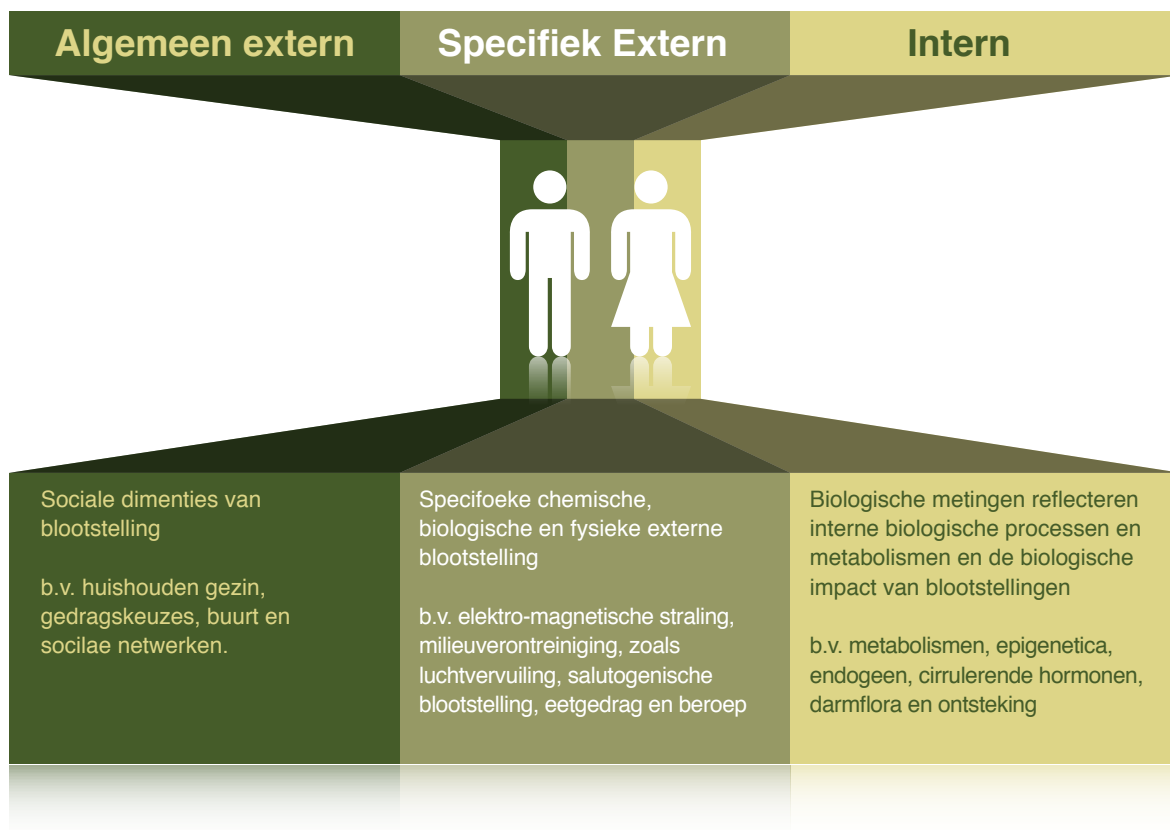
### **Living labs**

Nederland ligt in een zeer diverse delta met een typerende geschiedenis die het beeld van vele verschillende landschappen heeft bepaald. Het Nederlandse landschap, inclusief de vele natuurgebieden, is daarbij veelal door mensen gemaakt. Deze diversiteit betekent dat Nederland een heel scala aan *living labs* te bieden heeft, dat wordt gecombineerd met de overzeese gebiedsdelen. Deze gebieden zijn divers wat landschappen en functies betreft, maar ook in hoe de bewoners ervan wonen, werken en hun omgeving beleven. In Nederland gaat intensief ruimtegebruik bovendien over het algemeen goed samen met een aantrekkelijk landschap en natuurwaarden. Deze *living labs* bieden de gelegenheid om praktijkgericht onderzoek te doen naar praktische alternatieve oplossingen voor concrete problemen. Dit creëert directe maatschappelijke waarde. Aan dit praktijkonderzoek leveren de hogescholen een belangrijke bijdrage. *Living labs* ondersteunen zo niet alleen de innovatie van de beroepspraktijk, maar bieden ook rijke leeromgevingen voor studenten. Daarnaast bieden ze kansen voor *citizens science*, en kunnen adviesbureaus er hun specifieke gebiedskennis inbrengen.

### **Vernieuwende aspecten**

Het voorgestelde onderzoek is sterk vernieuwend vanwege zijn integrale en transdisciplinaire karakter, waarbij het betrekken van burgers en andere belanghebbenden centraal staat. De gekozen werkwijze






stimuleert technologische innovaties in bijvoorbeeld sensortechnieken, sensornetwerken, *citizen science*, big-data-analysemethodes en nieuwe ICT-diensten. De *living labs* dragen bij aan sociale innovaties en zijn op zich zelf een vorm van sociale innovatie. Omgevingsveranderingen en hun onderliggende processen en interacties gaan momenteel snel, maar de noodzakelijke maatschappelijke respons is te traag. 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. Het combineren van traditioneel grensverleggend

en ontwerpgericht onderzoek met burgerparticipatie zal zeker bijdragen aan het succes van dit onderzoek. Het vergroot het draagvlak ervan en kan ook leiden tot additionele financiële inbreng van NGO's en bedrijfsleven. Omgevingsonderzoek is bij uitstek interdisciplinair en transdisciplinair van aard. Inzichten en methoden uit een breed scala aan natuur-, mens-, maatschappij- en gezondheidswetenschappen versterken elkaar. Extra initiatieven zijn wel nodig om elkaars taal en cultuur te leren en gebruiken. Zulk grensoverschrijdend vermogen moet verder ontwikkeld worden, te beginnen in de onderwijsprogramma's van hogescholen en universiteiten. Omgevingsonderzoek wordt weliswaar niet tot de topsectoren gerekend, maar is wel essentieel voor het ontwikkelen en uitvoeren van het omgevingsbeleid van de toekomst.





## Levend verleden

Het verleden is een bron van inspiratie en conflict. Het dient als anker voor persoonlijke en collectieve identiteit en zorgt voor gevoelens van nostalgie. Daarnaast daagt het uit tot innovatie. We staan in Europa voor grote maatschappelijke uitdagingen. Studie van het verleden kan op drie manieren bijdragen aan een meer duurzame, inclusieve en economisch gezonde wereld: dit type onderzoek kan inzicht bieden in ons handelen, het kan inspiratie bieden bij het zoeken naar creatieve oplossingen voor maatschappelijke opgaven en het kan zorgen voor verbinding.

Voor het stellen van een juiste diagnose bij maatschappelijke uitdagingen is een langetermijnperspectief onontbeerlijk om patronen te zien en de concepten expliciet te maken waaraan we onze inzichten in onderzoek en beleid ontleen. We lijken in de westerse wereld echter alleen een kortetermijngeheugen te hebben. Financiële crises kunnen niet doorgrond of adequaat aangepakt worden zolang we het zicht beperken tot de afgelopen jaren. Klimaatverandering is geen recent verschijnsel, migratie en globalisering zijn dat evenmin.

Als kennissamenleving heeft Nederland unieke expertise in de bestudering van natuur en cultuur vanuit een historisch perspectief, bovendien beschikken we over rijke langetermijndatasets op het terrein van waterbeheer, klimaat, bevolkingsgegevens, governance, 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 uit dit rijke kennissysteem.

### Culturele waarde van erfgoed

Naast inzicht biedt kennis van het verleden immers ook inspiratie, door historische oplossingen in een nieuw jasje te steken. Erfgoed is wat mensen aan het hart gaat; het mobiliseert en prikkelt maatschappelijke betrokkenheid, in positieve en in negatieve zin, zoals in stereotypering en uitsluiting. Het is van groot belang om meer grip te krijgen op hoe de culturele waarde van erfgoed – evenals de meer dynamische,






strategische inzet van het verleden die sinds de jaren negentig is opgekomen – kan worden benut ten behoeve van de samenleving en als bron van innovatie. 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.

Naast voor een inter- of zelfs transdisciplinaire aanpak staat deze route voor een dynamische, subjectgerichte erfgoedbenadering; 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 met mensen. Deze benadering van erfgoed staat centraal in de route: het verleden is niet dood, het verleden leeft en wordt telkens weer opnieuw van betekenis voorzien. In deze tijd zijn daarbij drie gamechangers bepalend: vraagstukken rond duurzaamheid en temporaliteit, veranderingen op het gebied van governance 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.





### Duurzaamheid en temporaliteit

Hoewel het alarmerende rapport van de Club van Rome al bijna 45 jaar oud is, is de maatschappij zich toch pas relatief recent gaan heroriënteren op duurzaamheid. Met het onderzoek naar de betekenis van het verleden in en voor een duurzame samenleving, wil deze route bijdragen aan het zoeken naar concrete oplossingen voor duurzaamheidsvraagstukken. Het gaat daarbij bijvoorbeeld om onderzoek naar hergebruik van data, objecten, materialen en gebouwen. Duurzaamheid gaat echter verder, het gaat meer in het algemeen om toekomstgerichte omgang met materiële en immateriële sporen uit het verleden, om vraagstukken op het gebied van temporaliteit: 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? We kunnen onmogelijk alles behouden. Maar hoe zorgen we ervoor dat datgene behouden kan blijven dat wij nu, vanuit een oogpunt van duurzaamheid, liever niet vervangen?

### Behoud van kennis

Duurzaamheid van kennis heeft niet alleen een culturele maar ook een economische dimensie. Telkens opnieuw het wiel uitvinden is immers kostbaar. Dat geldt ook voor onderzoek en dataverzameling; het ontbreken van een gestandaardiseerde, duurzame en toegankelijke opslag van historische data bemoeilijkt longitudinale analyse van patronen, monitoring en modellering. Digitale duurzaamheid gaat dus niet alleen over data, maar ook over de organisatiestructuur. Belangrijke vragen die worden ingegeven door de heroriëntatie op duurzaamheid en die moeten leiden tot nieuw instrumentarium en handelingsperspectief zijn: Op welke wijze kan historische kennis bijdragen aan het innovatief en duurzaam realiseren van

ingrijpende landschappelijke transformaties? Hoe kunnen we door duurzame transformatie van jong erfgoed ondanks grote ruimtedruk behouden? Hoe garanderen we de duurzaamheid van historische voorwerpen en gebouwen die wij willen behouden voor de toekomst, inclusief objecten die gemaakt zijn van moderne materialen zoals plastics, plaatmateriaal en beton?

### De burger als expert

Ondersteund door onder meer een betere toegang tot informatie, toegenomen mobiliteit, welvaart en vrije tijd en een hoger opleidingsniveau, heeft de goed geïnformeerde, mondige en betrokken burger zich een grote rol toegeëigend 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. Een nieuwe ontwikkeling is de rol van *citizen science*, waarbij burgers via lokale initiatieven en digitale platforms bijdragen aan de beschikbare kennis van het verleden. *Citizen science* 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 waarderen 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.

### **Betwist erfgoed**

Maatschappelijke dynamiek zorgt voor toenemende diversiteit in de omgang met het verleden en voor uiteenlopende affectieve betrokkenheden daarbij.

Denk aan het debat over Zwarte Piet en het slavenijverleden, of de veranderde plek van religie en religieuze repertoires in ons dagelijks leven. 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**

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 CO<sub>2</sub>-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 bezien 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 verkeer- 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.

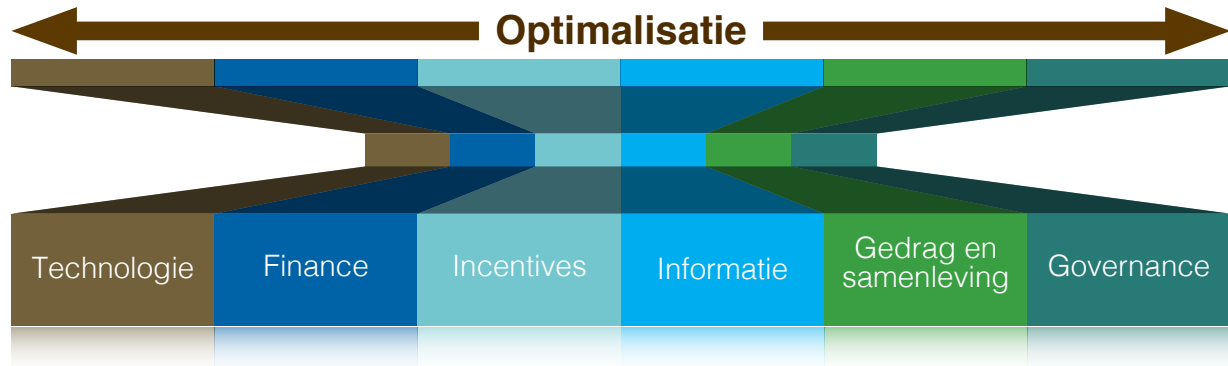
Een aantal technische revoluties, waaronder connectiviteit en big data, zullen een enorme invloed hebben op het transportsysteem van de toekomst. Denk aan:

- 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 vervlechting 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 samen-

hang 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 gemaakt 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: tele-





foons 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, voedsel-technologie, 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.



# Meten en detecteren: alles, altijd en overal

**Door meten tot weten. Onder dat motto groeit onze behoefte aan detailinformatie. Die groei stelt echter 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.**

Metingen zijn van essentieel belang voor wetenschap en innovatie; analytische wetenschap en technologie leveren de zintuigen van wetenschapper en innovator. Doordat metingen ook in toenemende mate deel zullen gaan uitmaken van het dagelijks leven, onder andere als gevolg van *citizen science* en persoonsgebonden diagnostiek, 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:

## **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 'Is dit voed-

sel gezond?', of 'Schaadt de omgevingslucht waarin ik mij nu bevind mijn gezondheid?' 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 de mate van detail van de metingen vergroten. Daarnaast moeten we nieuwe non-invasieve en non-destructieve meetmethoden ontwikkelen. Voorts zijn de 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 totaal verschillende soorten meetgegevens, informatie en kennis van complexe systemen en systeemelementen met elkaar te combineren.

## **Meten waar en wanneer het nodig is**

Droombeeld: In de toekomst hebben we onder andere een allergiesensor voor persoonlijke voedselveiligheid; een koelkast die aangeeft welke etenswaren snel geconsumeerd moeten worden; een robot die naar overlevenden van een aardbeving zoekt; een WC die je gezond-





heidsstatus bijhoudt en waarschuwt als er iets mis lijkt te zijn; een fabriek die haar productieparameters continu aanpast op basis van de actuele samenstelling van de grondstoffen; en een sensor in de uitlaat van auto's die de uitstoot meet.

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 hightech-instrumentatie is daarvoor cruciaal. Omdat de metingen in toenemende mate door ongetrainde gebruikers gedaan zullen worden, 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, ontwerp- en systeemintegratie.

### **Het begrijpen van de relatie tussen structuur, samenstelling en functie**

Droombeelden: Een expertsysteem dat op basis van structuurinformatie de mogelijke gedaantes van een stof onder verschillende omstandigheden kan voorspellen en een interdisciplinair wetenschappelijk platform voor structuur-eigenschaps- en structuur-prestatielaties.



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 giftigheid 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 conformaties.

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.

### Leren omgaan met meetgegevens

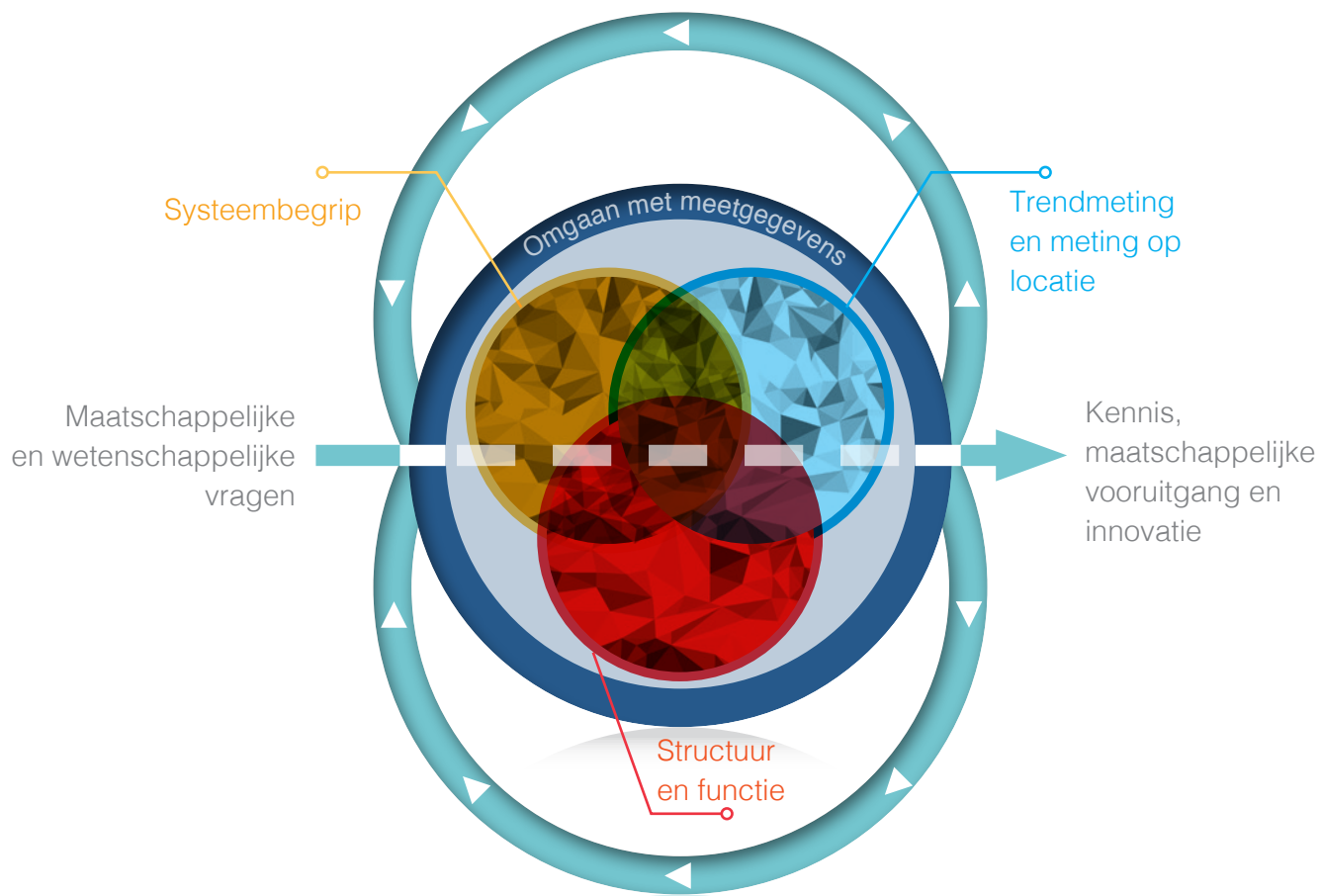
Droombeeld: Van analytische wetenschap naar analytische maatschappij; de verbinding van natuurkunde, chemie, biologie, statistiek, ethiek, recht, psychologie en ontwerp met gebruikers zoals telers, milieudeskundigen, voedingsdeskundigen, patiënten, artsen, burgers en operators.

Al binnen vijf jaar zijn er wereldwijd meer dan 250 miljard sensoren in gebruik voor een grote variëteit aan meettoepassingen, van milieumonitoring tot patiëntmonitoring, en van fabrieksmonitoring tot metingen aan de gebouwde omgeving. 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 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. Voortuitgang 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

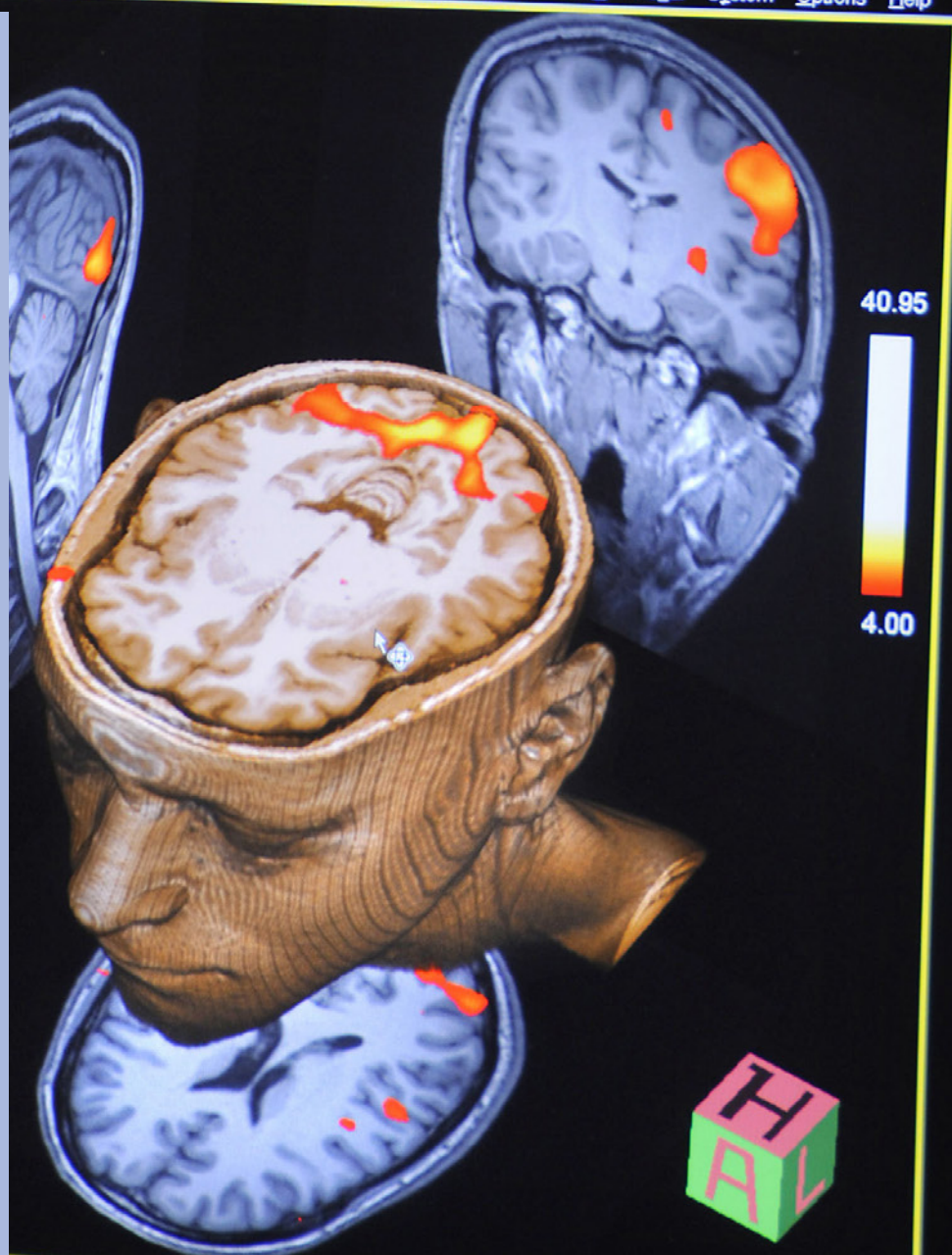
De komende tien jaar verwachten we grote wetenschappelijke doorbraken in ons begrip van de dynamische groei en verandering van onze hersenen gedurende de hele levensloop. De hier voorgestelde werkplaats NeuroLabNL is *de gamechanger* die wetenschappelijke doorbraken mogelijk maakt en gaat fungeren als 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 hen zelf 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 jeugdetentie 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 hersen- 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.



# 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 antwoorden op 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.

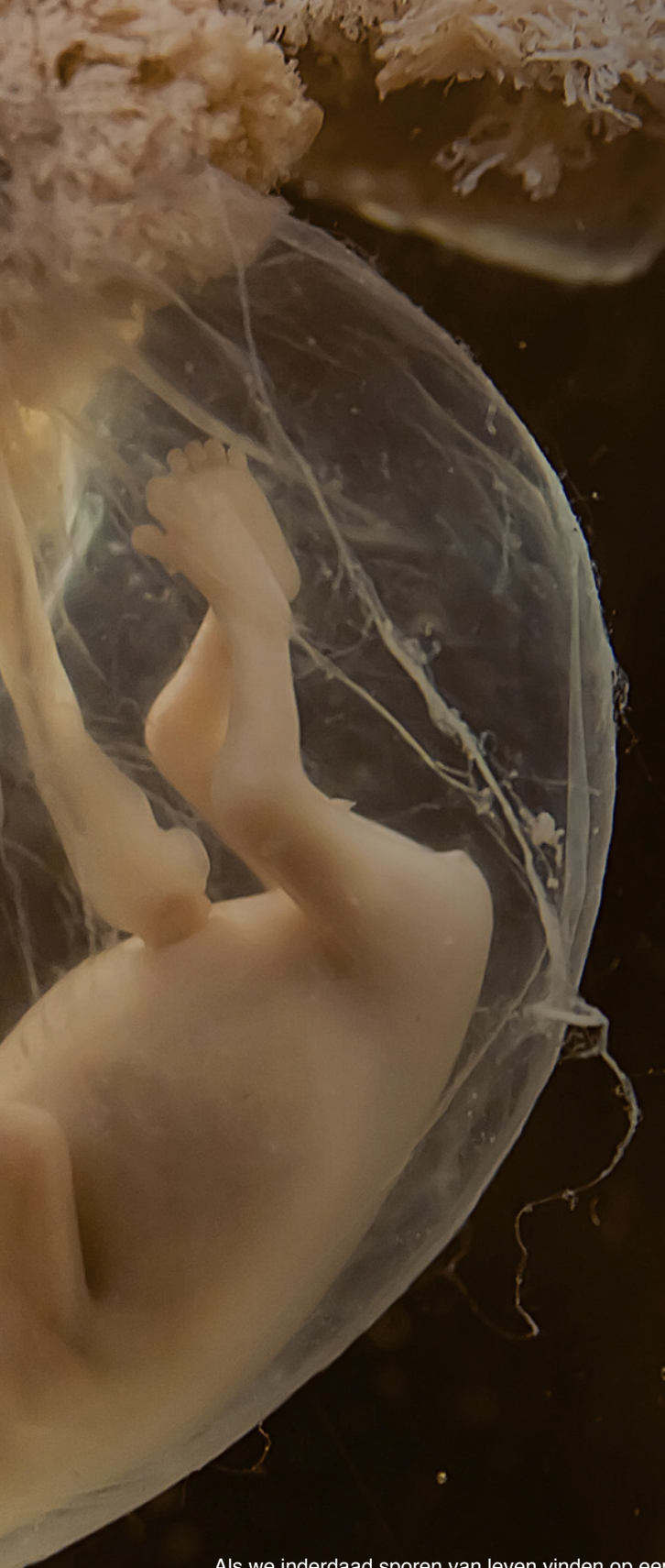
### **Het leven van molecuul tot biosfeer bouwen en sturen**

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 wiskundige 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.

### **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 fysische 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 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.



# 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 langetermijnconsequenties 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.**

Samenlevingen en hun burgers kunnen veranderingen beter opvangen en erop anticiperen wanneer zij tijdig bestaande regels, patronen, organisaties en maatschappelijke systemen kunnen omvormen zodat zij passen bij de nieuwe situatie. Daarbij moeten ze de mensenrechten en de beginselen van democratie en rechtsstaat respecteren en daar waar nodig een nieuwe invulling aan geven. Op deze manier kunnen negatieve effecten worden tegengegaan en nieuwe ongelijkheden, uitsluiting en tegenstellingen worden voorkomen of verzacht. Deze handelwijze draagt bij aan herstel van vertrouwen onder burgers, en voedt de legitimiteit en daarmee het draagvlak voor het omgaan met veranderingen en transformaties.

Zo'n veranderproces vraagt om intensieve interactie tussen wetenschap en samenleving. Burgers, het bedrijfsleven en maatschappelijke organisaties moeten in interactie met de wetenschap de uitdagingen in samenhang analyseren en antwoorden daarop formuleren. Alleen met een dergelijke integrale en gezamenlijke aanpak, die op de hier voorgestelde omvangrijke schaal nog niet bestaat, kunnen we de vernieuwingen ontwikkelen die nodig zijn om de gewenste veerkrachtige, inclusieve en zinvolle samenleving vorm te geven.

Deze route leidt tot een systematisch onderbouwd handelingsperspectief op samenleving, economie en governance van de toekomst. Dit perspectief wordt ontwikkeld in interactie met de maatschappelijke, culturele en economische actoren die daardoor nieuwe handvatten verkrijgen voor beleid en implementatie. Zo geven we met deze route richting aan de transfor-

matie van de samenleving en ondersteunen die tegelijkertijd. Dit is cruciaal voor het succesvol aangaan van uitdagingen – bijvoorbeeld die op ecologisch en technologisch gebied – waarvoor de kracht van de samenleving het onmisbare fundament is.

## Nieuwe verbindingen

Hierbij maakt deze route optimaal gebruik van de dynamiek die in de maatschappij zelf besloten ligt. Het Nederlandse poldermodel heeft een aantal specifieke kenmerken waardoor het uniek is in de wereld, zoals de vorm van overleg en besluitvorming waarin gelijkwaardigheid, samenwerking, pragmatisme en vertrouwen een grote rol spelen. Door zijn lange geschiedenis biedt het poldermodel zelf al een schat aan bruikbare voorbeelden van lokale en nationale samenwerkingsverbanden die antwoorden zochten op uitdagingen, ook in een internationaal krachtenveld.

Deze route combineert een intensieve samenwerking van wetenschappers en praktijkgerichte onderzoekers over de grenzen van disciplines en instituten heen met maatschappelijke, culturele en economische partners. Op deze manier kunnen we beter leren begrijpen voor welke uitdagingen we staan, scenario's maken en toetsen. Op deze manier ontwikkelen we voor concrete vraagstukken een wetenschappelijk gefundeerd raamwerk, dat het mogelijk maakt om tot beredeneerde afwegingen te komen en vervolgens op kennis en ervaring gebaseerde oplossingen te implementeren die richting geven aan de transformatie van de samenleving en het versterken van maatschappelijke veerkracht. Zo valt er veel winst te behalen uit de verbinding van wetenschap met ministeries, de



Vereniging voor Nederlandse Gemeenten, buurtorganisaties en burgerinitiatieven.

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.

### **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.

### **Referendum**

*De burger voelt zich niet altijd goed gehoord door de overheid. Een referendum kan een middel zijn om dit te verbeteren, maar kan ook onbedoelde, negatieve effecten hebben. Wanneer zetten we het wel in en wanneer niet en zijn er geschikte alternatieven?*

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, terwijl 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.

### **Robots**

*Robots nemen ons werk over, wat leidt tot angst voor banenverlies. Maar de komst van robots leidt ook tot nieuwe kansen. Hoe richten we onze organisaties in de 21ste eeuw zodanig in dat de mens optimaal van de machine profiteert?*

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 21<sup>ste</sup> 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.

### **Migratie**

*Vluchtelingen en arbeidsmigranten veranderen onze samenleving essentieel. Hoe zetten we in op talent en geven we organisaties de handvatten om iedereen deel te laten nemen ongeacht welvaartsniveau, cultuur of identiteit?*

Samenlevingen ontnemen 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.

### **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

Precies de juiste en voldoende zorg voor elke individuele patiënt. Met een optimaal resultaat, een minimum aan bijwerkingen, tegen minimale kosten, 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 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 elke patiënt samen met de arts de voor hem of haar optimale 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.

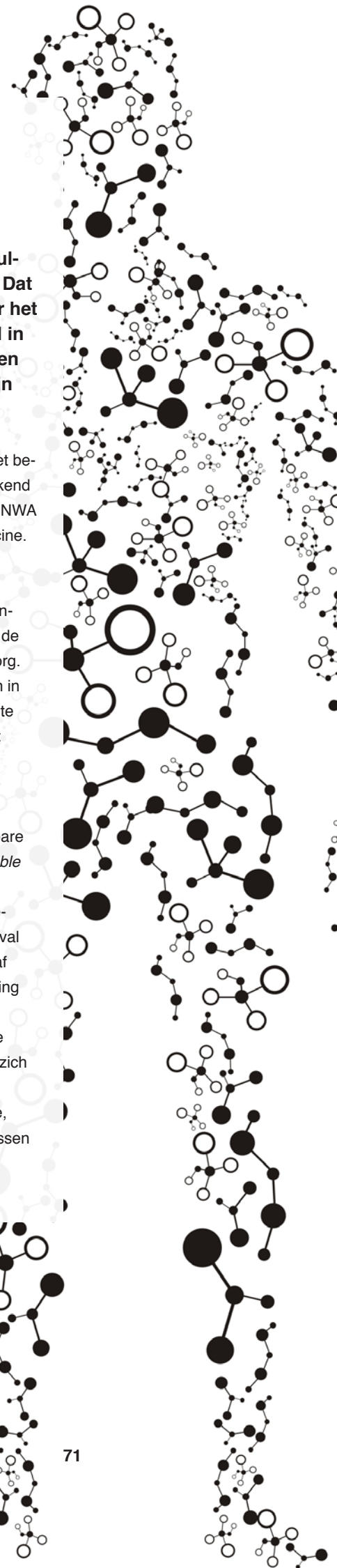
Personalised medicine begint dus al met preventie, levert zo nodig gerichte interventies en gaat zo door tot

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* infrastructuur, 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 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 gemeenschappelijke 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. Het initiatief Personalised Medicine & Health Research infrastructure 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 naschooling 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 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

Health Care  
Doctor  
Hospital  
Pharmacist  
Nurse  
Dentist  
First Aid  
Surgeon  
Emergency

Health Care  
Doctor  
Hospital  
Pharmacist  
Nurse  
Dentist  
First Aid  
Surgeon  
Emergency





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? 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.

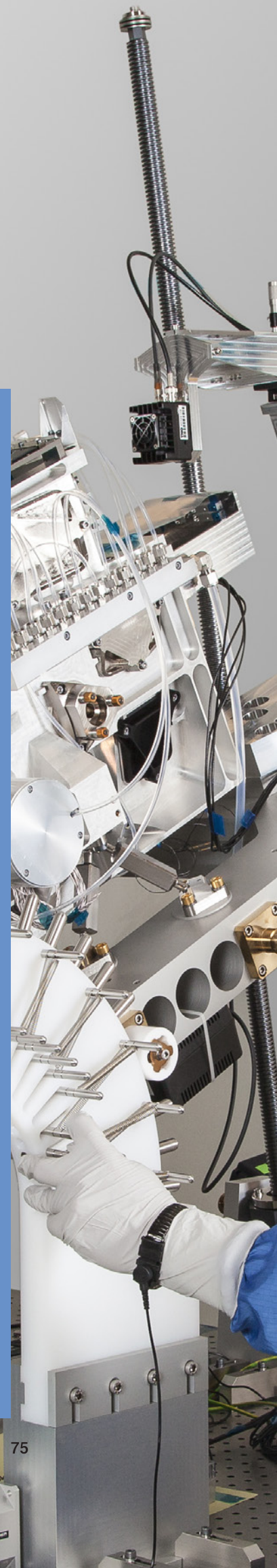
Nederland heeft een uitstekende uitgangspositie om in de komende decennia op wereldschaal verschil te maken in deze revolutie. Het Nederlandse onderzoek op het gebied van quantum ICT en nanotechnologie, inclusief nanobiofysica, nanomaterialen, nanofotonica en *nanomedicine*, behoort tot de wereldtop. 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:

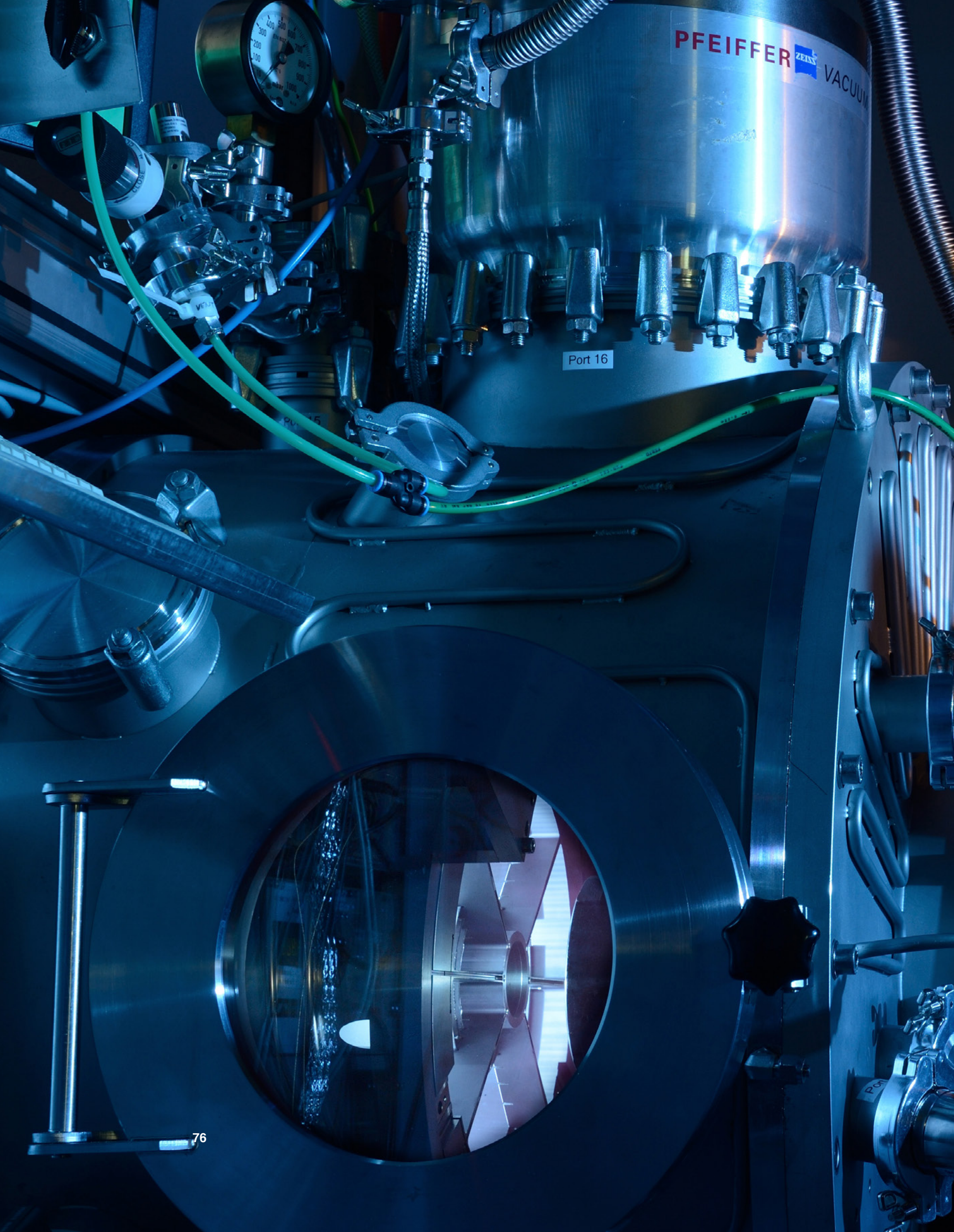
## Quantumcomputing en het quantuminternet

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








PFEIFFER ZEISS VACUUM

Port 16





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 bijvoor-

beeld 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 overall 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-a-chip*, zonder dierproeven en zo nodig op maat voor de patiënt. Er wordt gewerkt aan nieuwe verbindingen tussen hersenen en elektronica, bijvoorbeeld in bionische ledematen. Een fascinerend toekomstbeeld dus, waarbij regeneratieve geneeskunde enorme kansen biedt voor gezondheidszorg èn 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, èn 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.

## 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, met wereldwijd meer dan 700 bedrijven die in 2013 een gezamenlijke marktwaar-

de van 16,4 miljard dollar vertegenwoordigden, met een verwachte groei naar 67,5 miljard dollar in 2020 (Proteus Data, 2014). 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.

## 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 van regeneratieve geneeskunde in te lossen.

## 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 tussen technologie en geneeskunde. Een gericht carrière-stimuleringsprogramma op dit gebied zou de impact kunnen vergroten.



### Samenwerkingsverbanden consolideren

De grote en succesvolle publiek-private samenwerkingen in de regeneratieve geneeskunde zoals BMM, TeRM, NeuroDelta en NIRM die grotendeels gefinancierd werden vanuit de FES (Fonds Economische Structuurversterking) middelen, zijn momenteel afgerond. Door de visie van vorige kabinetten die deze samenwerkingen deels financierden staat Nederland momenteel wetenschappelijk sterk op het gebied van de regeneratieve geneeskunde. Nu is het van het grootste belang om te investeren in de consolidatie van deze verbindingen. De huidige financiering van grootschalige samenwerkingen is nu veelal afkomstig van Europese subsidies, aangezien Nederlandse financiering momenteel ernstig tekort schiet in vergelijking met andere ontwikkelde landen.

Onderzoekers, bedrijven en ministeries zien het belang van deze consolidatie en zijn al begonnen met stappen in die richting. Twee voorbeelden zijn hDMT (*Institute for human Organ and Disease Model Technologies*) en RegMed XB (*Regenerative Medicine Across Borders*) die als doel hebben pre-competitief onderzoek uit te voeren in samenwerking met bedrijven. Deze noodzakelijke krachtenbundeling zal bijdragen aan de overbrugging van wetenschappelijk idee naar behandeling patiënt.

### Investeren in infrastructuur en onderzoek (fundamenteel en translationeel)

Door een gemeenschappelijke onderzoeksagenda te stimuleren kunnen programmeringen (van overheid, gezondheidsfondsen, topsectoren etcetera) synergetisch bijdragen aan de regeneratieve geneeskunde. In dit opzicht zijn zowel hDMT als RegMed XB interessante initiatieven, omdat door integratie van multidisciplinaire kennis en expertise kritische massa gecreëerd wordt rondom inhoudelijke onderzoeksthema's. Tegelijkertijd wordt ook gemeenschappelijk gebruik gemaakt van kostbare infrastructuur (*Good Manufacturing Practice clean rooms*, microfluidica productie). Binnen dergelijke nationale grootschalige samenwerkingsverbanden en infrastructuren kan er gewerkt worden aan het uitwerken van de randvoorwaarden om de volgende stap te kunnen maken van fundamentele concepten naar concrete toepassingen bij de patiënt, bijvoorbeeld door onderzoek te doen naar het genoom en nieuwe technologieën, interactie tussen biomaterialen en cellen, en te investeren in geavanceerde imaging platforms. Deze investeringen sluiten ook aan bij de investeringsagenda van de Nederlandse Federatie van Universitaire Ziekenhuizen (NFU), zoals beschreven in de notitie *sustainable health*.



### **Maatschappelijk Verantwoord Innoveren (MVI)**

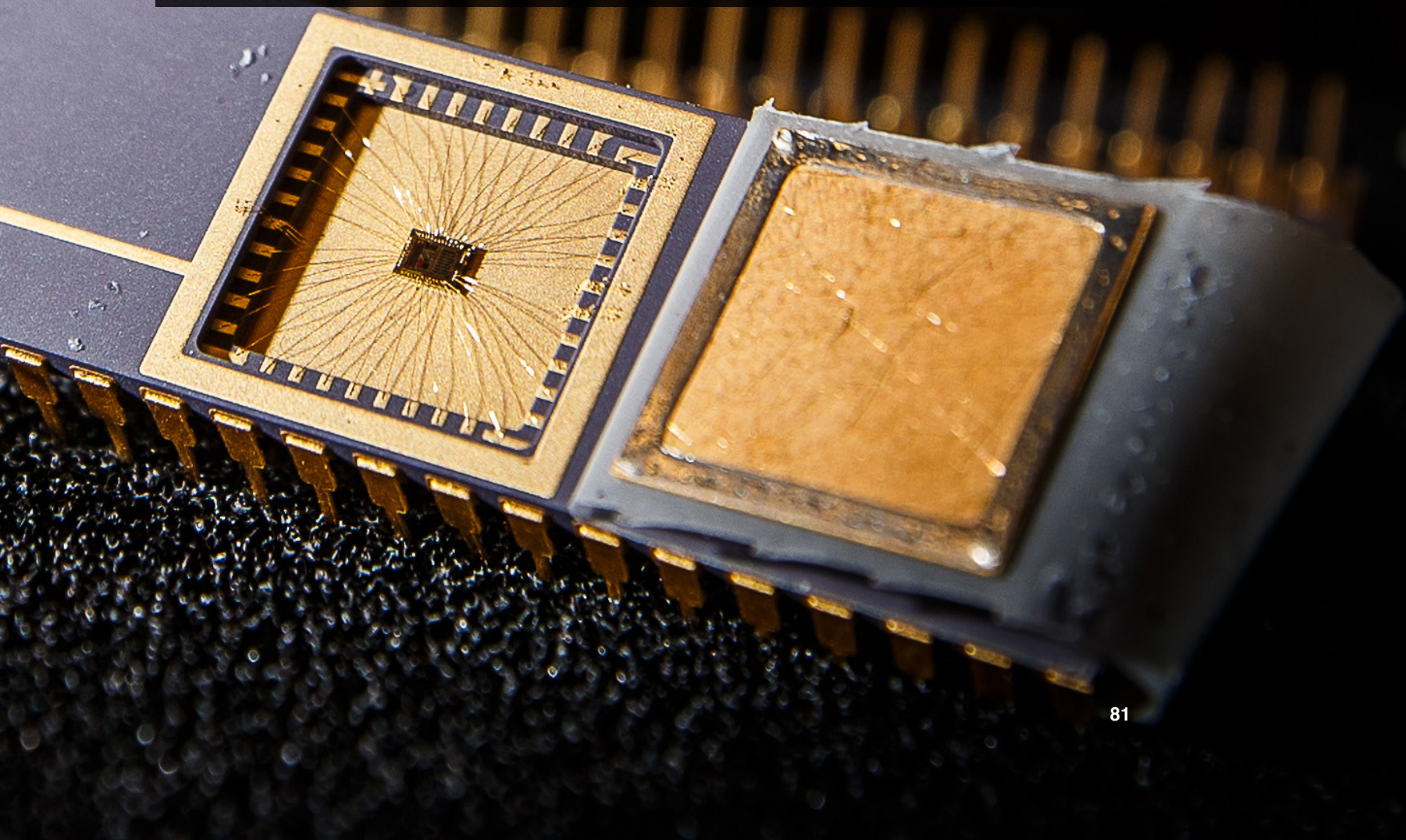
Voor brede toepassing is het belangrijk het publiek goed te informeren en te betrekken in een dialoog over de sociale, juridische en ethische consequenties van regeneratieve geneeskunde. Zo'n open debat kan ertoe bijdragen dat de toepassingen die ontwikkeld worden, daadwerkelijk aansluiten bij de behoeften van Nederlanders en breed geaccepteerd zullen worden. 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, is het ook noodzakelijk dat de overheid investeert in een interessant vestigingsklimaat voor bedrijven gericht op regeneratieve geneeskunde. 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. Onderzoekers dienen in een vroeg stadium door deze thematische TTOs begeleid te worden. 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.

### **Positie onderzoeksveld regeneratieve geneeskunde**

Nederland behoort tot de top 5 van de wereld in het onderzoeksveld van de regeneratieve geneeskunde en is nummer 1 als het gaat om de impact van de gepubliceerde artikelen (*Pubmed analyse*). Hoewel dus al veel werk verzet is, hebben nog maar weinig patiënten daadwerkelijk kunnen profiteren van concrete producten. De stappen van laboratorium naar kliniek en van experiment naar bredere toepassing moeten grotendeels nog gezet worden. Dat komt onder meer door het ontbreken van voldoende financiering voor translationeel onderzoek en de beperkte productiefaciliteiten. Op dit moment is de Nederlandse voorsprong op wetenschappelijk gebied nog niet terug te zien in toegenomen economische waardegroei in Nederland. Het zou kapitaalvernietiging zijn als alle investeringen uit het verleden in dit veelbelovende vakgebied met een verwachte marktwaarde van 67,5 miljard dollar in 2020 uiteindelijk alleen in het buitenland economische winst opleveren. Overheden in andere landen stimuleren de vereiste technologische ontwikkelingen krachtig. Voorbeelden daarvan





zijn *Catapult Cell therapy* in de UK en *Centre for the Commercialization of Stem Cell Research* in Canada (variërend van 15 tot 100 miljoen euro per jaar). Het is van het grootste belang dat de Nederlandse overheid op zijn minst vergelijkbare bedragen investeert om de huidige wetenschappelijke positie vast te houden, waardoor de aantrekkingskracht voor het bedrijfsleven gegarandeerd blijft. Een essentiële voorwaarde is het verwerven van specifieke expertise op het gebied van valorisatie van regeneratieve geneeskunde.

### Impact

Ziektes waarvoor op dit moment curatieve behandelingen ontwikkeld worden op basis van regeneratieve geneeskunde, kosten Nederland in 2011 18,2 miljard euro. 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.

### Investeringsbehoeften

De regeneratieve geneeskunde is een wezenlijk andere benadering van de geneeskunde waarbij het terug geven 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. Investerings 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. Voor het ontwikkelen van de gemeenschappelijke onderzoeksagenda's kan gebruik gemaakt worden van matching door lokale overheden en TKI-gelden van gezondheidsfondsen.

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. Dat is de stip 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, en technologieën 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.**

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 personalisatie en *servitization*: 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. Dat product maken zij niet meer zelf: hun toeleveranciers nemen het gehele productieproces over.

## Industrie 4.0

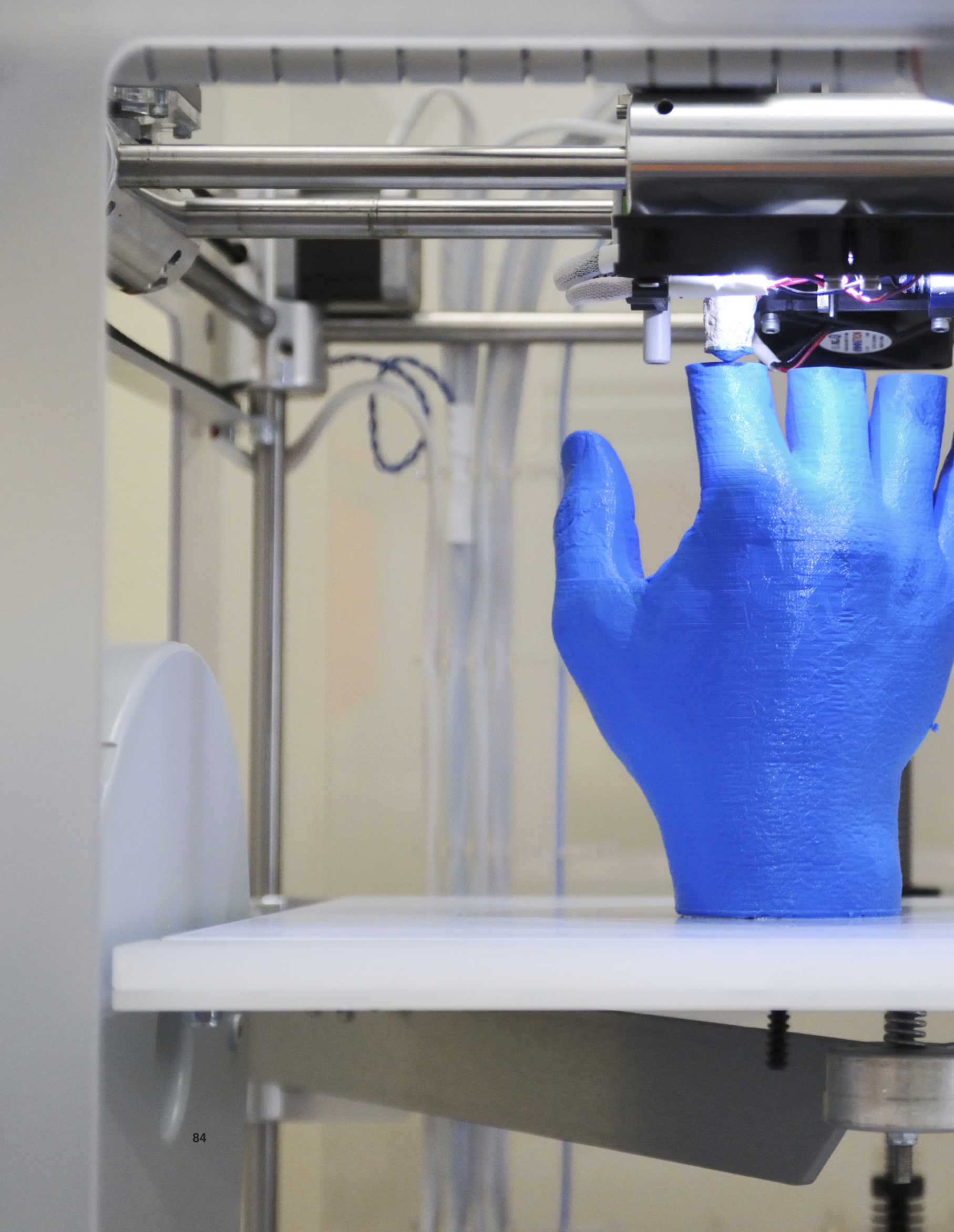
De industrie van de toekomst, in Duitsland ook wel Industrie 4.0 genoemd, wordt gekoppeld aan digitale technologieën. In Nederland spreken we over *smart industry*. Dit begrip omvat de digitalisering en *servitization* van onze welvaartcreatie. Met *industry* worden alle processen bedoeld die tot waardecreatie 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 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. Dat geldt overigens niet alleen voor fabrieken, maar ook voor ziekenhuizen en alle andere processen die draaien om productie en logistiek.

*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 vier 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-dienstsysteem 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. Deze gamechanger heeft impact op de maakindustrie, 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 proeftuinen, livinglabs en 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 zijn service en onderhoud aan herziening toe. Zo is het voorstelbaar dat machines online informatie doorgeven over hun functioneren. Een onderhoudsmonteur komt dan niet meer volgens een vooraf bepaald schema, maar alleen als er iets mis dreigt te gaan. Zo'n model brengt echter wel vragen met zich mee: wie is er verantwoordelijk als een machine niet meer veilig is, maar het probleem zelf niet herkent?

### **Smart Production – de flexibele fabriek dankzij digitalisering**

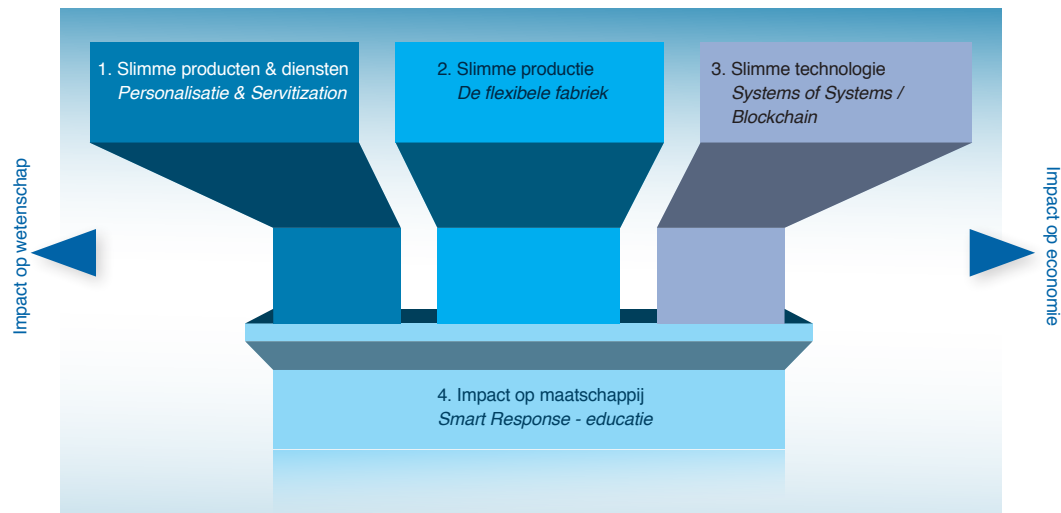
Dit onderdeel onderzoekt de vernieuwing die nodig is om geautomatiseerde productie mogelijk te maken van kleine series en enkele stuks. De gamechanger hier is de flexibele fabriek, met als ideaalbeeld metro-

politan 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. 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 verdamppt, maar 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 & blockchain**

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 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 – en *blockchain* – een gedistribueerde database die een gestaag groeiende lijst bijhoudt van data-items die gehard zijn tegen manipulatie en vervalsing – zijn belangrijke onderzoeksonderwerpen.





Wetenschappelijke onderwerpen waarin we daarnaast als Nederland een goede positie moeten blijven behouden zijn complexe software, *embedded systems*, mechatronica, precisietechnologie en materiaalmodellering en -simulatie.

### Smart Reponse - Maatschappelijke impact op smart jobs & skills

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 en individu. Smart educatie is het hoofdaspect van deze gamechanger. Hoe werken de concepten die mogelijk worden met *smart industry* door in de samenleving en wat is daarop de reactie van consument, werknemer, politiek, en media?

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. 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.

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.



# Smart, liveable cities

In 2050 zal zeventig procent van de wereldbevolking in stedelijke omgevingen wonen, die dan goed zijn voor bijna tachtig procent van het bruto wereldproduct. Een goed functionerende stad is van belang voor stadsbewoners zelf, maar zeker ook voor de bewoners van suburbane regio's en plattelandsgebieden. De stad van de toekomst vraagt een integrale, multidimensionale aanpak om zowel de kansen als de bedreigingen voor de stad te adresseren. Nieuwe samenwerkingsvormen zijn nodig om nieuwe contouren te schetsen voor een stad waarin het goed en veilig leven is.

De stad is bij uitstek het schaalniveau waarop belangrijke maatschappelijke, ecologische en digitale uitdagingen zich manifesteren. Het toekomstbestendig maken van steden en hun buitengebieden vereist een nieuwe geïnspireerde betrokkenheid van burgers en bedrijven, verandering van bestuursmodellen, en circulair energie- en grondstofgebruik. Zaken als klimaatadaptatie, het benutten van digitalisering voor veilig en goed functionerende, en ook gezonde steden en het verbeteren van het stedelijke ecosysteem zijn daarbinnen belangrijk.

## Vijf gamechangers

De transitie naar een bestendige, leefbare, slimme stad stelt de wetenschap voor interessante en complexe uitdagingen. *Smart, liveable cities* zijn het gevolg van maatschappelijke en technologische veranderingen die zich steeds meer en exponentieel voltrekken. Hoe kunnen we nieuwe perspectieven, samenwerkingsverbanden en paradigma's concreet toepassen in de stad; wat werkt wel en wat niet? Vanuit een multidisciplinaire aanpak zullen oplossingen gevonden moeten worden. Deze aanpak vraagt om een radicaal nieuwe benadering, één van dialoog en samenwerking tussen bestaande en nieuwe disciplines. De smart, liveable cities zullen altijd parallel vanuit vier contingente perspectieven of lenzen benaderd moeten worden: de tastbare stad, de menselijke stad, de georganiseerde stad en de onzichtbare stad. Vijf gamechangers zijn geformuleerd:

## Safe Big Data Cities

De samenleving digitaliseert. Technologische ontwikkelingen op het gebied van ICT, sensoren, e-health, apps, het *Internet-of-Things* en de digitale revolutie hebben tot gevolg dat steden steeds digitaler worden. Hoe organiseren we een platform van data en informatie waardoor sturing op stedelijk niveau mogelijk wordt? De vraag is niet zozeer óf onze steden zullen transformeren naar smart cities, maar hóe we deze nieuwe digitale stad optimaal laten functioneren. Kunnen we de digitalisering van de stad ten goede laten komen aan de leefbaarheid, economie, gezondheid en veiligheid van de samenleving? In toenemende mate is betrouwbaarheid van data punt van aandacht. Hoe zorgen we dat de gebruikte openbare data beschikbaar en betrouwbaar zijn, en hoe kunnen burgers daarbij worden betrokken? De digitale stad moet aansluiten op de diversiteit aan behoeften van bewoners en zal moeten kunnen anticiperen op maatschappelijke veranderingen en technische ontwikkelingen. Een belangrijk verantwoordelijkheidsvraagstuk betreft de kwetsbaarheid met betrekking tot cyberveiligheid, cybercrime, terrorisme, hacken en spam. Vanuit bestuur en samenleving ontstaat een steeds grotere vraag naar informatie, onder andere ten behoeve van onze veiligheid. Vanuit commerciële overwegingen zal de behoefte aan meer informatie groot zijn. Daarmee wordt privacy het tweede belangrijke verantwoordelijkheidsvraagstuk. Het waarborgen van privacy in zijn algemeenheid, en meer specifiek het definiëren en kunnen stellen van een ondergrens aan privacy, wordt steeds belangrijker.



## Smart polderen

Huidige technologische en maatschappelijke trends hebben verstrekende gevolgen voor de organisatie en instituties van steden. Ze bieden nieuwe mogelijkheden voor participatie in besluitvorming, zelfsturing en netwerkiniciatieven en ook andere vormen van communicatie en samenwerking tussen bestuursorganen. Daarom is het van groot belang dat er beter inzicht komt in de organisatiestructuur en politieke structuur van steden, hoe deze zich ontwikkelen en wat de consequenties zijn van de invloed van nieuwe technologie, onder andere op sociale en menselijke interactie. We weten nog weinig over hoe besluitvorming op verschillende niveaus in een stad tot stand komt. Dat komt ook doordat we nog maar weinig weten over het effect van nieuwe technologische ontwikkelingen, decentralisatie en burgerparticipatie. Onderzoek is daarom essentieel: nieuwe technologie zorgt voor een grotere efficiëntie en snelheid in organisatie en besluitvorming, maar er zijn onvermijdelijk andere, vooral indirecte effecten die zonder onderzoek niet te voorspellen zijn. Er bestaan talrijke verschillen in bestuur en organisatie tussen steden onderling die bepalend zijn voor inrichting, identiteit en leefbaarheid. De effecten van nieuwe technologie, communicatie en data-inzet hierop zijn onbekend. Een belangrijke vraag is ook wat de effecten zijn op meer ongedefinieerde vormen van *governance*, zoals die van tijdelijke consortia van instituties, bedrijven en burgers rondom losse projecten.

De dynamiek van de stad wordt daarnaast in belangrijke mate bepaald door organische processen, zoals zelforganisatie op wijkniveau, inkoop van diensten en transport. Deze dynamiek ontstaat ook door activiteiten aan de rafelranden van de stad die zich onttrekken aan de formele besluitvorming. Deze vormen van organisatie passen in veel gevallen slecht bij huidige regelgeving en de tijdschaal die daarbij hoort. Ook hier geldt dat nieuwe technologie bestuur kan faciliteren, daarvoor moet eerst beter inzichtelijk worden gemaakt wat de te verwachten gevolgen zijn. Burgerparticipatie kan door nieuwe vormen van communicatie worden vergroot, maar het is van evident





belang dat de inzet hiervan niet juist leidt tot uitsluiting van mensen die de nieuwe routes niet kennen. Ook in minder absolute zin kunnen verschillen in toegankelijkheid voor burgers tot verstoring van het democratisch besluitvormingsproces leiden. Het behoud van vertrouwen in diensten van, en communicatie met de overheid, is van cruciaal belang voor een goed functionerende stedelijke samenleving.

### **Citizen empowerment**

Betrokken en in harmonie met elkaar kunnen samenleven in een stad: zonder spanningen onderling of tussen groepen vergroot de leefbaarheid van steden. Slimme data en technologieën kunnen nieuwe aanleidingen creëren voor contact tussen de bewoners en ondernemers in de stad.

Ook in economische zin is self-empowerment belangrijk. Vergroting van participatie is een van de belangrijkste voorwaarden voor de mobilisatie van menselijk kapitaal. Hoe creëren we betaalde en onbetaalde arbeid door meer participatie en betrokkenheid de bewoners van de stad? Over de invloed van de toename van mobiliteit en digitale communicatie op ontmoetingen van mensen in steden, is niet veel bekend. Digitale platforms, serious gaming en sharing-technologie kunnen burgers helpen om zichzelf te organiseren, diensten te delen en gezamenlijk het leven in de stad te verbeteren. De mate van organisatie van dergelijke activiteiten van burgers en organisaties weerspiegelt de smartness van de stad. Onderzoek hiernaar moet ertoe leiden dat we beter weten hoe de betrokkenheid van burgers en hun sociale, economische en emotionele betrokkenheid bij elkaar, en de stad, wordt vergroot.

### **Urban technologies**

De veranderingen die op de stedelijke gebouwde omgeving afkomen zijn aanzienlijk, en vragen een integrale aanpak. Er worden nieuwe technologische oplossingen gevraagd voor de wijzigende demografische omstandigheden, het samenbrengen van energiegebruik, -productie en -opslag, inzet en maatregelen om steden klimaatadaptief te maken en steden voor te bereiden op nieuwe mobiliteitsvormen.



De inbedding van deze technologische ontwikkelingen in de bestaande stad met haar schaarse ruimte en noodzaak voor acceptatie vraagt om nieuwe technologieën die dit mogelijk maken.

Veel maatschappelijke vraagstukken en uitdagingen die een grote impact zullen hebben op de stedelijke gebouwde omgeving of waarvan een deel van de oplossing in de stedelijke gebouwde omgeving gecreëerd zal worden, moeten een plek krijgen in de stad: stedelijke groei, vergrijzing, nieuwe industriële processen, energietransitie, klimaatverandering, 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 moeten en kunnen worden toegepast in de gebouwde omgeving. Hergebruik wordt essentieel; zowel als het gaat om de harde (bouw)materialen die gerecycled en hergebruikt kunnen worden, alsook om de organische afvalstromen en het hergebruik daarvan.

De veranderende verhouding tussen de mens, gezondheid, infrastructuur, energie, milieu, licht, geluid, gebouwen en groen in de slimme stad zijn onderwerp van onderzoek, waarbij architectuur, omgevingspsychologie, gezondheidszorg, planologie en stedelijk ontwerpen elkaar raken.

### **Resilience**

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

verbeterde en snellere ontwerpprocessen, terwijl de stad bestaande kwaliteiten en cultureel erfgoed dient te bewaren. De stad dient fysiek zo ingericht te zijn dat nieuwe functies kunnen worden geabsorbeerd, bestaande functies eenvoudig kunnen veranderen, calamiteiten opgevangen kunnen worden en grote verstoringen in processen gedempt: resilience engineering. Onderzoek is nodig naar nieuwe ruimtelijke ontwerp- en planningsconcepten, ingrepen en onderhoud zonder overlast voor bewoners, zodat de processen in de slimme, fysieke stad optimaal kunnen plaatsvinden binnen schaarse ruimte, en het intensievere en multi-purpose gebruik.

### **Aanpak**

Deze route vergt zowel alfa-, bèta/technisch- als gammaonderzoek, veelal in nauwe en gecoördineerde afstemming en samenwerking. Nieuwe samenwerkingsvormen zijn nodig, waarvoor de vier invalshoeken – tastbare, georganiseerde, menselijke en georganiseerde stad – een aanzet kunnen zijn. Deze route heeft een sterke internationale oriëntatie; Nederlandse steden onderscheiden zich internationaal door hun succesvolle planningsmechanismen, hun experimentele en verandergezinde houding. De route daagt uit tot de ontwikkeling van nieuwe wetenschappelijke onderzoeksmethoden: van participierend actie-onderzoek, sensor-gebaseerd data onderzoek, *living labs*, en *citizen science* met behulp van apps tot acceptatie-onderzoek ten aanzien van technologische veranderingen. 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.



# Sport en bewegen

**Bewegen en sport zijn in de hele levensloop belangrijk. Baby's beginnen met leren bewegen; kinderen hebben sport en spel nodig om zich lichamelijk en geestelijk te ontwikkelen; volwassenen bewegen om fit te blijven en welvaartsziekten op afstand te houden; ouderen blijven bewegen omdat het hen helpt langer vitaal te blijven, en daarmee langer zelfstandig en zelfredzaam. En sommige mensen ontwikkelen hun beweegtalent tot topsporter. Sport en bewegen brengt mensen samen en draagt bij aan sociale cohesie.**

De komende jaren gaan we in het onderzoek naar sport en bewegen het verschil maken. Dat wordt mogelijk doordat we niet langer van groepsgegevens hoeven uit te gaan, maar gaan beschikken over informatie op individueel niveau. Daardoor zal iedereen op maat kunnen bewegen en sporten, al dan niet op topniveau. Dé gamechanger voor deze route is dan ook: Bewegen op maat, voor iedereen, in elke leeftijdsfase: het kan!

Om dat voor iedereen mogelijk te maken, is het nodig elk individu te helpen zijn of haar beweegpotentieel te realiseren. Daarbij onderzoeken we niet alleen de behoeften en mogelijkheden van elk individu, maar ook diens sociale en fysieke omgeving. Want kunnen en willen bewegen hangt samen met persoonlijke kenmerken en met contextuele factoren. Ook voor topsporters geldt dat individuele optimalisatie nodig is om het maximale uit zichzelf te kunnen halen en topprestaties te kunnen leveren.

## **Bewegen op maat voor iedereen**

De drie thema's 'Leren (en) bewegen', 'Gezond bewegen' en '(Top)prestaties' hebben elk op zichzelf waarde, maar zijn ook sterk verbonden met elkaar: de gamechanger kan alleen slagen als we op alle drie inzetten. Zo is de kennis die bij topsport wordt opgedaan, ook waardevol voor de praktijk van gezond bewegen en leren (en) bewegen, en andersom. Om





elk thema goed op waarde te kunnen schatten, is het daarom nodig het steeds in samenhang met de andere twee te bekijken.

### Leren (en) bewegen

Elk individu heeft iets anders nodig om zijn of haar beweegpotentieel waar te maken. Beter bewegen zorgt voor beweegplezier, beweegvaardigheid en persoonlijke ontwikkeling en verkleint de kans op lichamelijke en psychische ziekten. Het legt de basis voor een gezond en gelukkig leven. Beter bewegen voorkomt samen met gezond eten overgewicht, een van de grootste volksgezondheidsproblemen en is essentieel voor een gezonde opvoeding van onze kinderen. Door achteraf de beweegleerloopbanen van volwassenen in beeld te brengen wordt duidelijk wanneer sprake is van kantelpunten en transities in het leren of afleren van bewegen.

Leren bewegen begint al op school. Door de komende vier jaar longitudinaal onderzoek te doen bij kinderen kunnen we het fundament leggen voor een bewegingvolgsysteem en dat integreren met bestaande leerlinginformatiesystemen. Zo komen we leerbeweegpatronen op het spoor, waarmee we voor specifieke leerlingen specifieke interventies kunnen ontwikkelen en uittesten. Daarbij gaat het niet alleen om individuele interventies maar ook om sociaal- of groepsgericht leren, culturele aspecten en om het opsporen van sporttalent. Uiteindelijk willen we individuele leerstrategieën in kaart brengen om te weten in welke levensfasen het grootste effect plaatsvindt van bewegen op individueel niveau.

Verder wetenschappelijk onderzoek moet daarnaast uitwijzen welke combinatie van leren en bewegen en bewegend leren een positief effect heeft op leer- en schoolprestaties.

Verbindingen tussen pedagogiek, onderwijskunde, bewegingswetenschappen, neurowetenschappen en data science zijn nodig om het genoemde onderzoek te kunnen doen. Voor onderzoek naar implementatie en structurele inbedding in het onderwijs vindt samenwerking plaats tussen basisscholen, scholen voor voortgezet onderwijs, organisaties van onderwijzend

personeel, gemeenten, universiteiten en hogescholen, sportverenigingen en aanbieders van lokaal sportaanbod.

### Gezond bewegen

Als we willen dat mensen gezond bewegen moeten we niet alleen kijken naar persoonlijke aspecten, maar ook naar sociale en maatschappelijke componenten. Door op al die niveaus systematisch data te verzamelen leren we welke beleidsinterventies het meest effectief zijn om bewegen te stimuleren. Over vier jaar is het dankzij die aanpak mogelijk om een optimale match te maken tussen lokaal beweeg- en sportaanbod enerzijds en behoeften en mogelijkheden van individuele burgers anderzijds.

Door het opzetten van grote cohortstudies kunnen wetenschappers onderzoeken in welke wijken mensen voldoende of juist te weinig bewegen. Die data kunnen ze combineren met kenmerken van wijken, zoals de demografische samenstelling, aanwezige sociale klassen, de fysieke omgeving, de mate van mobiliteit of de aanwezigheid van sportvoorzieningen en -verenigingen.

Sport en bewegen hebben bij leefstijlgerelateerde gezondheidsproblemen vaak een beter effect dan medicatie. Daarnaast is meer bewegen goedkoper, en het heeft nauwelijks bijwerkingen. Op basis van dataverzameling en -analyse weten we bij welke gezondheidsproblemen beweeginterventies het meest effectief zijn en hoe ze geïntegreerd kunnen worden in het individuele behandelaanbod.

Verschillende nieuwe wetenschapsverbindingen zijn hiervoor nodig: een combinatie van beleids- en preventieonderzoek. De integratie van lokale dataverzamelingen en sociaalpsychologisch onderzoek en beleid en de integratie van medisch onderzoek met sociaalpsychologische inzichten uit de gedragswetenschappen. Daarnaast is samenwerking nodig tussen gemeenten, lokale welzijns- en zorgorganisaties, lokale sportaanbieders en -verenigingen, universiteiten en hogescholen, ziekenhuizen, onderzoeksinstituten en verzekeraars.





### **(Top)prestaties**

Het voorkomen van blessures scheelt persoonlijk leed en economische kosten en houdt mensen langer en positief in beweging. In de topsport zorgt dit voor gelijkmatiger en langduriger presteren op hoog niveau: preventie wordt een onderdeel van presteren. De komende vier jaar zorgen we er met behulp van implementatieonderzoek voor dat effectieve interventies om blessures te voorkomen ook daadwerkelijk in de praktijk worden toegepast.

Daarnaast is een grote trainingsefficiëntieslag mogelijk. Nu geldt dat je tienduizend uur moet oefenen om een vaardigheid onder de knie te krijgen. Dit kan worden gehalveerd. De komende vier jaar zetten we data science-technieken en technologie in om op die manier relevante trainingsdata op het spoor te komen van sporttalenten en topsporters. Die data kunnen we vertalen in handvatten voor persoonlijke monitoring en feedback. Op de derde plaats zetten we de komende jaren in op *fair play* en *fair (findable, accessible, interoperable and reusable)* data. Afwijkende patronen in de individuele data van sporters kunnen een indicatie zijn voor dopinggebruik. Wedstrijdgegevens kunnen een aanwijzing geven voor matchfixing. Door de explosief toegenomen data in de sport te delen, brengen we *fair play* dichterbij.



Specifiek nieuw zijn hier de verbindingen tussen data science en bewegingswetenschappen. Samenwerking vindt plaats tussen sportbonden, sportverenigingen, topsporters, bedrijven, universiteiten en hogescholen.

### **Samenwerking en partnerschap**

Kennis en praktijk staan op het terrein van sport en bewegen al dicht bij elkaar. De komende jaren willen we die band verstevigen. Financiers hebben elkaar reeds gevonden en afgesproken gezamenlijk te gaan programmeren. Dat zal leiden tot prioritering en focus, en daarmee tot meer massa, impact en rendement. Analooq aan de Olympische cyclus bezien we elke vier jaar opnieuw waaraan behoefte is. Daarbij kijken we ook over de grenzen en zoeken we internationaal versterking en verrijking.

### **Kennis vertalen en toepassen**

Hoe kan kennis die is ontwikkeld in labs en met behulp van experimenten het beste aansluiten bij de noden en behoeften van de praktijk? Om die vraag te kunnen beantwoorden, is het nodig aanvullend onderzoek te doen naar implementatie en structurele inbedding in beleid en in de praktijk. In de topsport staan wetenschappers nu al naast en in de coachpraktijk om trainingsgegevens te analyseren en advies te geven. In de toekomst willen we dat verder uitbouwen en ook mensen vanuit de sportpraktijk de wetenschap binnenhalen, om zo de toepassing van kennis verder te verbeteren.

Ook willen we weten hoe kennis uit andere sectoren – zoals gezondheidszorg, onderwijs of ruimtelijke ordening – kan bijdragen aan het effect van sport- en bewegonderzoek. Hierbij is het belangrijk dat de ontwikkelde kennis wordt toegepast in de sportpraktijk, in scholen, bedrijven en het lokale overheidsbeleid, en dat er verbindingen komen tussen onderwijs, onderzoek en beleid en praktijk. Bij de toepassing van kennis hebben we expliciet aandacht voor groepen waar kennis minder vanzelfsprekend een praktisch effect

heeft, zoals voor mensen met een lage sociaaleconomische status en lage gezondheidsvaardigheden, en voor migranten en vluchtelingen.

### **Data science**

Recent is een begin gemaakt met het oprichten van een infrastructuur waarin het delen en analyseren van data toegankelijk wordt voor veel partijen, doordat dataverzamelingen breed toegankelijk worden gemaakt en ook beschikbaar worden gesteld aan specifieke deskundigen. Hun analyses zullen leiden tot nieuwe inzichten op uiteenlopende terreinen: van bloedbeeldanalyses tot het scouten van talent en het achterhalen van motieven om wel of niet te sporten.

Met behulp van methoden zoals data mining, tekst- en beeldanalyse, *machine learning* en *visual analytics* kunnen robuuste en interessante patronen in data worden ontdekt. Ook gebruiken we datagenerende technieken zoals sensortechnologie. Op basis daarvan is het mogelijk op individueel niveau analyses te maken en voorspellingen te doen. Dankzij data science is het bovendien ook mogelijk te analyseren welke omgevingsfactoren individueel sporten en bewegen beïnvloeden. Dit betekent dat de kwaliteit en de kwantiteit van de gegevens aan hoge eisen moeten voldoen. Een geavanceerde data-infrastructuur is hiervoor een belangrijke concrete randvoorwaarde. Ook is aandacht nodig voor de ethische, juridische en maatschappelijke aspecten van *big data*.

### **Het verschil maken**

We creëren een ecosysteem voor onderzoek en sportinnovaties, waarbinnen onderzoekers, bedrijven, overheden en sportorganisaties samen kunnen werken aan sport- en beweeginterventies en -innovaties. Daarbij streven we ernaar dat lokale overheden en bedrijven zich binden aan deze kennisinfrastructuur, om zo de impact te vergroten en economisch rendement te realiseren. Bewegen op maat, voor iedereen, in elke leeftijdsfase: het kan!



# 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 verschilt 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, 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 belangen van alle bevolkingsgroepen of landen includeren, 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 dan dit 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 integratie van ecologische, sociale en economische dimensies van ontwikkeling 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 nieuwe benadering van de *Sustainable Development Goals* vereist nieuwe, wetenschappelijk onderbouwde inzichten in de onderlinge samenhang van de drie deelsystemen waarbinnen deze doelen zijn gegroepeerd. Daarnaast is een kennisinfrastructuur die ruimte biedt aan pluriforme waarde- en kennisystemen 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 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 gamechanging 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 kennissystemen 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 infrastructures 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 ontwikkeling van kennis en innovatie mogelijk.

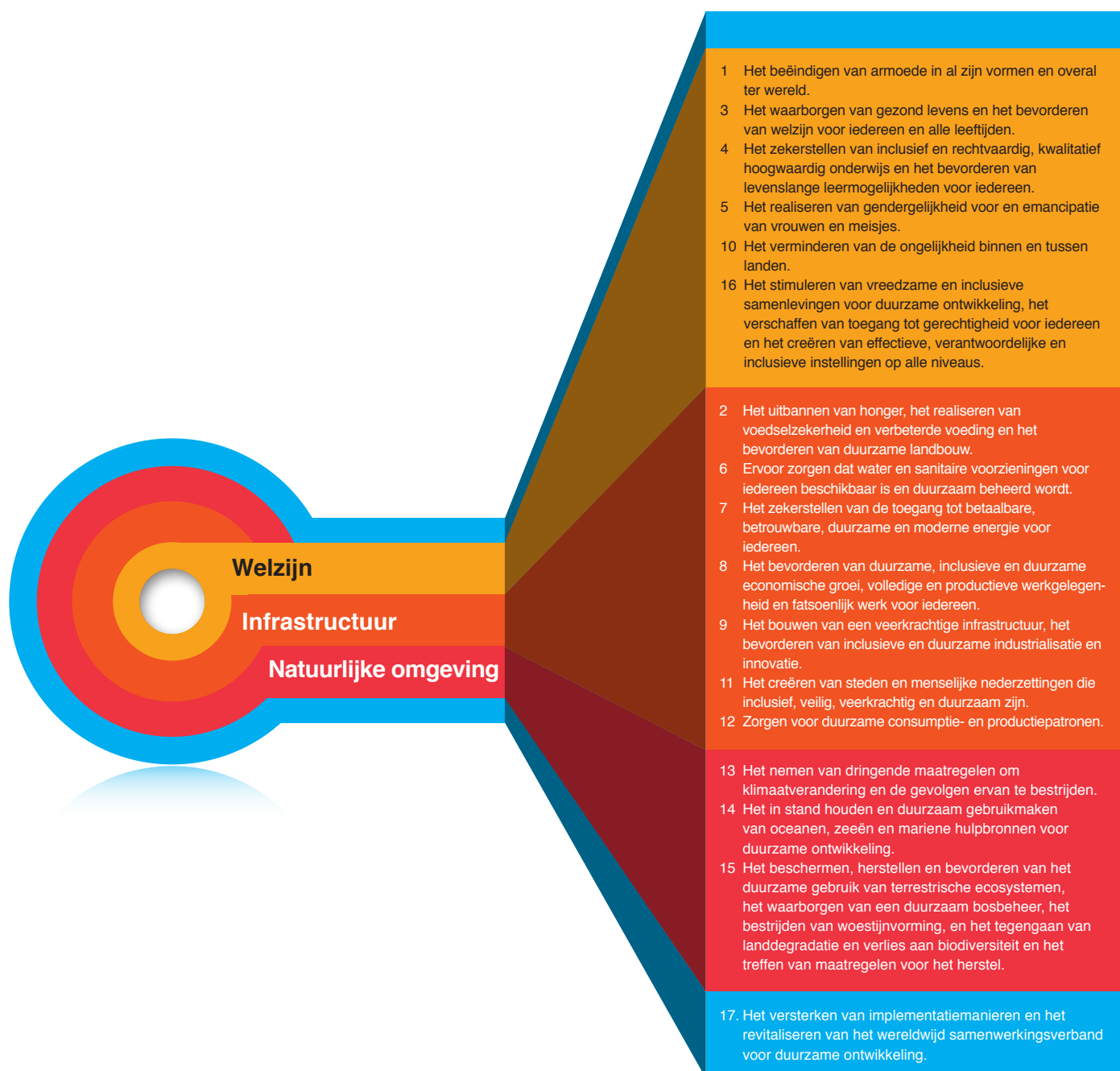
### **Nieuwe verbindingen**

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. 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 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 ontwikkelingslanden. 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 praktijkexpertise 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.







---

## Tussen conflict en coöperatie

De toenemende complexiteit van onze samenleving lijkt gepaard te gaan met een grote verscheidenheid aan conflicten en coöperatie op alle niveaus. Conflicten verschillen in tal van dimensies, zoals bijvoorbeeld intensiteit, duur en historie, vorm, betrokken partijen, inhoud en middelen. Coöperatie verschilt in vergelijkbare dimensies. Van burgers, beleidsmakers, maatschappelijk werkers, zorgverleners en leraren tot aan politici en diplomaten: velen hebben urgente vragen over de aanpak van geschillen, hoe oorzaken te identificeren, schadelijke gevolgen te beperken en constructieve oplossingen te bevorderen.

**Deze route is gebaseerd op drie uitgangspunten:**

### **Conflict en coöperatie zijn allebei nodig**

Conflicten worden veelal als negatief aspect gezien van interactie tussen individuen, groepen of naties en coöperatie als het vreedzame, te prefereren alternatief. In dit beeld vergeet men echter dat conflicten ook een dynamiek op gang kunnen brengen die oplossingen biedt voor tegenstellingen in belangen of waarden en die juist leidt tot een nieuw, beter evenwicht. Coöperatie kan deze creatieve dynamiek daarentegen vertragen en de schijn van harmonie ophouden. Het onderkennen van deze ogenschijnlijke paradox is een eerste uitgangspunt in deze route. Niet voor niets kennen vrijwel alle samenlevingen een rechtsmechanisme waarbij conflictueuze verhoudingen worden gereguleerd en nieuwe coöperatie wordt bevorderd langs de weg van een rechtsstrijd.

### **Dynamieken meten en monitoren**

Een tweede belangrijk uitgangspunt voor deze route is dat dynamieken van conflict en coöperatie gemeten en gemonitord moeten worden. Monitoren is nodig om te registreren waar en wanneer vreedzaam samenleven in een conflict uitmondt. Evenzo is het van belang te inventariseren en verklaren onder welke omstandigheden er een uitweg is uit conflicten.



Welke interventie brengt partijen weer bij elkaar en herstelt het leed, zodat betrokkenen het leven weer kunnen hernemen?

Alleen door de oorzaken te kennen en de effecten van interventies te meten, kunnen we evidence-based en effectief handelen. Als conflicten eenmaal zijn uitgebroken is het van het grootste belang om grondig de oorzaken weg te nemen, slachtoffers te compenseren en relaties te herstellen. Anders is het wachten tot het conflict opnieuw opblaait.

Daarnaast is er meer kennis nodig over de factoren die bijdragen aan het in stand houden en verstevigen van coöperatie, solidariteit en samenwerking van samenlevingen, instituties en individuen. Hierbij gaat het niet alleen om economische en politiek-juridische factoren. Ook psychologische factoren kunnen een rol spelen bij de afbrokkeling en opbouw van coöperatieve arrangementen. Als bijvoorbeeld ongelijkheid toeneemt of mensen zich oneerlijk behandeld of uitgesloten voelen dan is het nodig om met de belangen van verschillende groepen rekening te houden en de juiste balans te vinden tussen eigenbelang en het belang van anderen.

### **Multidisciplinair onderzoek**

Conflicten en coöperatie vinden we op en tussen micro-, meso- en macroniveau: tussen burgers, sociale verbanden staten en in alle denkbare kruisverbanden. Conflicten ontstaan uit onvrede, economische achterstand, pathologie, onvoldoende toezicht, verwaarlozing, genetische aanleg, enzovoorts. Vaker wel dan niet zijn zij het gevolg van een samenkomst en dynamische wisselwerking van verschillende soorten oorzaken. Dat maakt dat multidisciplinair onderzoek geboden is. Door multidisciplinaire samenwerking op het niveau van conceptualiseren, monitoren, diagnose, behandeling en nazorg kunnen we komen tot een veelomvattend model van conflict en coöperatie. Beter gebruik van ICT-gegevens, nieuwe *machine-learning* algoritmes en methoden om uit de veelheid van factoren en gegevens patronen te destilleren, zullen

samenwerking verbeteren en kruisbestuiving bevorderen, en in synergie tot nieuwe discipline-overstijgende inzichten leiden.

### **Majeure veranderingen**

In het huidige turbulente tijdsgewricht veranderen aard en frequentie van conflicten sneller dan gevestigde wijzen van conflictoplossing kunnen bijhouden. Drie majeure veranderingen springen eruit:

De eerste is die van de expansie van de digitale ruimte, waarin steeds meer menselijk handelen zich beweegt en waarin dus ook steeds vaker conflicten veroorzaakt worden. Cyberconflicten verlopen anders dan conflicten in de niet-digitale ruimte. Cyberconflicten zijn grenzeloos, hebben deels een andere etiologie en dynamiek en zijn anders en vooral lastiger traceerbaar en meetbaar.

Ten tweede is de aard van de oorlogsvoering de afgelopen decennia sterk veranderd. In plaats van het traditionele land tegen land, vinden oorlogen steeds vaker plaats tussen bevolkingsgroepen onderling, soms zelfs binnen een land. Burgers zijn in veel gevallen bewust doelwit van strijdende partijen. De hierdoor ontketende vluchtelingenstromen leiden wereldwijd tot conflicten aan de ene kant en solidariteit aan de andere kant op alle niveaus van de samenleving. Terrorisme en gewelddadig extremisme en de preventiemaatregelen daartegen hebben de afgelopen jaren wereldwijd diep ingegrepen in de levens van burgers en tot grote psychologische, sociale en economische schade geleid.

De derde verandering is de steeds belangrijkere rol van het slachtoffer bij conflicten en de legitimiteit die men ontleend aan het slachtofferschap. Deels vanwege de hoge werkdruk bij autoriteiten is men op zoek naar alternatieve oplossingen van conflicten. Hierdoor is de afdoening van kleinere conflicten tussen burgers of tussen burger en staat wezenlijk gemankeerd geraakt. De waarborgen van de rechtsstaat staan daarmee onder druk. Deze ontwikkelingen vergen additioneel, multidisciplinair, grensoverschrijdend onderzoek.





Bezinning over de klassieke paradigma's is gewenst, en historische studie en reflectie om parallellen te ontdekken broodnodig. Gebaseerd op deze uitgangspunten laten zich ten minste drie gamechangers formuleren. Daaraan parallel is aandacht nodig voor nieuwe onderzoeksmethodieken en de ontwikkeling van nieuwe disciplineoverstijgende concepten.

#### **Oorzaken van conflicten: op zoek naar tipping en dipping points**

Allereerst is onderzoek nodig naar de oorzaken van normovertredingen door burgers, instanties of staten, en naar conflicten tussen deze partijen. Onoverbrugbare waarden- en belangentegenstellingen kunnen ongelijkheid scheppen, wat een ontwrichtende werking heeft op individueel niveau, in gezinnen, bevolkingsgroepen, inter- en intra-statelijk of op het niveau van de wereldorde.



De vraag is waar precies voor categorieën van normovertredingen of conflicten het omslagpunt ligt: Wanneer loopt een echtscheiding uit op een vechtscheiding? In welke constellatie escaleert 'langs de lijntjes lopen' tot een bankencrisis? Wanneer ontaardt een politieke ruzie in oorlog?

Van even groot belang is onderzoek naar de andere kant van de medaille: Hoe kan coöperatie worden hersteld? Hoe realiseer je deradicalisering? Wat maakt dat mensen na een leven vol criminaliteit het rechte pad hervinden en gezagsgetrouwe burgers worden?

### **Doorbreken legitimiteitscrisis: succesvolle conflicthantering**

Onderzoek naar mogelijkheden om de legitimiteitscrisis bij slachtoffers te doorbreken is urgent. Daarbij kan worden gedacht aan positieve interventie via erkenning, behandeling en compensatie, of aan negatieve interventie via ontkenning, dwang of machtsgebruik. Onderzoek is nodig naar nieuwe praktijken van conflicthantering en coöperatie. Inzicht in de oorzaken van de legitimiteitscrisis kan aanzetten tot het ontwikkelen van nieuwe praktijken van conflicthantering en coöperatie. Naast klassieke vormen van crisismanagement zijn er ook innovatieve reacties op normovertredingen: bijvoorbeeld het afdoen van overtredingen door de eigen organisatie of direct betrokken instanties in plaats van onafhankelijke organen; convenanten als preventie; of extreem normeren en publieke naming and shaming via sociale media. In hoeverre zijn deze ontwikkelingen te rijmen met de fundamenten van onze westerse rechtsstaat? In hoeverre werken ze? Dergelijk onderzoek moet op veel punten transdisciplinair zijn waarbij ook in de praktijk getoetst wordt in hoeverre nieuwe aanpakken daadwerkelijk doel treffen.

### **Complexiteit in conflict: correlaties en wisselwerking**

In falende staten komen zaken als corruptie, wanbestuur, misdaad, lage economische groei, kansloosheid, mensenrechtenschendingen, hongersnood of vluchtelingenproblematiek vaak gelijktijdig voor.

Hoe hangen deze ontwikkelingen samen? Wat zijn de maatschappelijke kosten ervan? Welke heilzame aangrijpingspunten voor interventie bieden deze ontwrichtende cycli? Onderzoek naar cycli waarin conflicten verwoestend uit de hand zijn gelopen is hierbij noodzakelijk en evenzo naar situaties waarin onrecht in een jarenlange situatie van coöperatie kon blijven voortbestaan. De wisselwerking tussen micro-, meso- en macroniveau dient daarbij centraal te staan. Zo kun je je afvragen of de schadelijke effecten van conflict op een macroniveau, zoals oorlog, door coöperatie op een ander niveau, bijvoorbeeld door solidariteit en sociale steun in vluchtelingenopvang kunnen worden verlicht. De mondiale verwevenheid van conflicten en grondstoffenhandel en de daarmee gepaard gaande verwoesting van de ecologie in conflictgebieden roepen vragen van nog hogere orde en meer interdisciplinariteit op.

Beantwoording van de hier aangestipte groepen onderzoeksvragen is alleen mogelijk als er een aantal nieuwe meetmethodieken, innovatief monitoringgereedschap en nieuwe concepten worden ontwikkeld. De analyse van big data, (epi)genetica, machine learning, fysiologische en neurologische metingen spelen hierin belangrijke rollen. De oplossing is echter niet alleen technologisch. De multidisciplinaire aanpak waarbij ook micro-, meso- en macroniveaus op elkaar worden betrokken impliceert eveneens dat nieuwe conceptualisering nodig is: conflictoplossingsstrategieën uit de gezinspedagogiek kunnen bijvoorbeeld worden gespiegeld aan die uit de polemologie. Er is behoefte aan een overkoepelende en integrale focus: oorlogen laten zich niet oplossen door één van de oorzaken weg te nemen, vluchtelingenstromen gaan zich bij een slechts gedeeltelijke oplossing gewoon verplaatsen, bij ouders in een vechtscheiding zijn de conflicten zo verward dat alleen een overkoepelende interventie verdere schade bij de kinderen kan voorkomen. Tegen het licht van de grote maatschappelijke kosten van conflicten en de lange tijd waarover die rekening wordt doorbetaald zullen investeringen in dit onderwerp zich op termijn ruim terugverdienen.



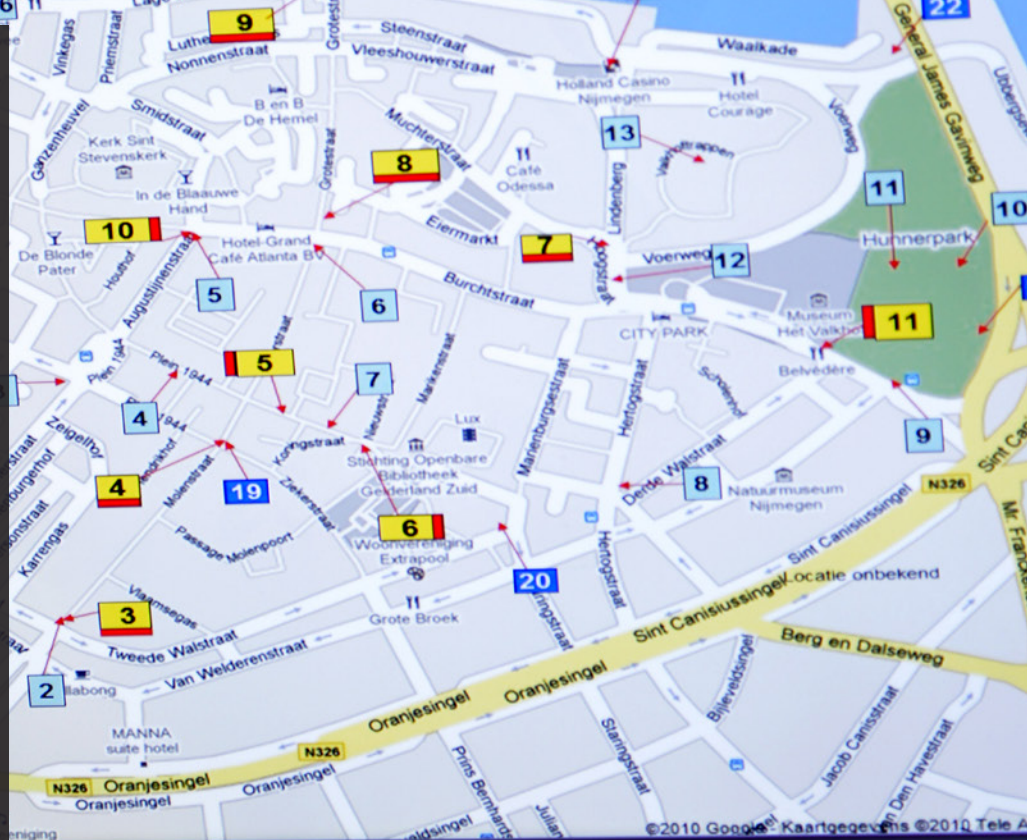
# Waardecreatie door verantwoorde toegang tot en gebruik van big data

De impact van de explosief groeiende hoeveelheid en diversiteit van gegevensbestanden – big data – 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. Big data is niet alleen ‘veel data’; het betekent ook nieuwe combinaties van data en continue stromen van gegevens, die nieuwe eisen stellen aan infrastructuur en technieken, aan mensen die met deze data 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 slimme 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 speelt big data een rol in de vragen.

## Wat betekent big data als gamechanger?

De revolutionaire kracht van big data ligt in het combineren van een veelheid aan verschillende gegevens. Dit lukt alleen als databestanden open en toegankelijk zijn. Dat betekent echter wel dat we verantwoord met deze gegevens moeten omgaan. Het doel voor het komende decennium is daarom het ontwikkelen van de juiste instrumenten en infrastructuur voor verantwoorde toegang en gebruik van big data en daarmee waarde te creëren in economische, maatschappelijke en wetenschappelijke domeinen. De economische waarde van big data wereldwijd wordt geschat op meer dan 45 miljard euro in 2017.





Deze waarde ontstaat door de toepassing van big data in een veelheid aan economische sectoren en door de groeiende big data economie zelf. De maatschappelijke waarde ligt in het opleiden van mensen in 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 klimaatsimulaties.

Om aan de vraag aan big-data kennis te kunnen voldoen en optimaal waarde te kunnen creëren is een aantal acties noodzakelijk. Bestaande en nieuwe analysetechnieken en automatische beslismethoden die werken met verschillende soorten data, zoals transacties, gesproken of geschreven teksten, beelden en metingen moeten worden ontsloten via een grote gevarieerde gereedschapskist van software, analysemethoden en de daarbij behorende infrastructuur en kunde. Experimenteeromgevingen zijn nodig om partijen te leren (samen te) werken met data. Er moet een infrastructuur worden opgebouwd waarin gegevens open, toegankelijk en uitwisselbaar (interoperabel) kunnen worden verzameld, opgeslagen, geanalyseerd en gedeeld. Ook de mogelijkheden voor datamarkten, waarin burgers en bedrijven rechten op gebruik van data verhandelen moeten worden onderzocht. Wet- en regelgeving wordt geëvalueerd en geactualiseerd om maximaal meerwaarde uit de combinatie van gegevens mogelijk te maken, met inachtneming van de privacy van burgers. Tot slot zullen de essentiële elementen van data science in alle niveaus van het onderwijs worden opgenomen om de benodigde tienduizenden data science specialisten te kunnen opleiden.

Deze waardecreatie moet op een verantwoorde manier gebeuren. Het gezamenlijk zoeken naar de balans tussen wat met big data kan, mag en wenselijk is, is de gamechanger in big data. Democratische

waarden als gelijkheid, openheid, juistheid, volledigheid, betrouwbaarheid en vertrouwelijkheid moeten verankerd zijn in het ontwerp van de big data instrumentatie. Toegepaste algoritmen moeten transparant zijn en geen politieke, regionale, etnische, of genderkleuring hebben. Daarbij is de betrokkenheid van de gebruikers van big data centraal. Al deze aspecten moeten aandacht krijgen in huidig en toekomstig onderzoek.

### **Impact**

Big data 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 big data 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 big data 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 big data 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 data-monopolies en bijbehorende interventiestrategieën van buiten de EU.



### **Beroepsbevolking en werkgelegenheid**

Met het oog op de toenemende rol van big data, automatische algoritmen en robotisering in allerlei sectoren, is het versterken van de data science competentie 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 big data. Europa is zeer gericht op open wetenschap en open innovatie. 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 met datamonopolies ontstaat samenwerking tussen verschillende eigenaren en afnemers van gegevens, elk met een eigen belang om data te delen.

Nederland heeft een wereldwijd uniek groot en actief ecosysteem op het gebied van 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. Ook de ministeries, regionale overheden, kennisinstellingen en andere organisaties ontwikkelen samenwerkingsverbanden om big data 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.

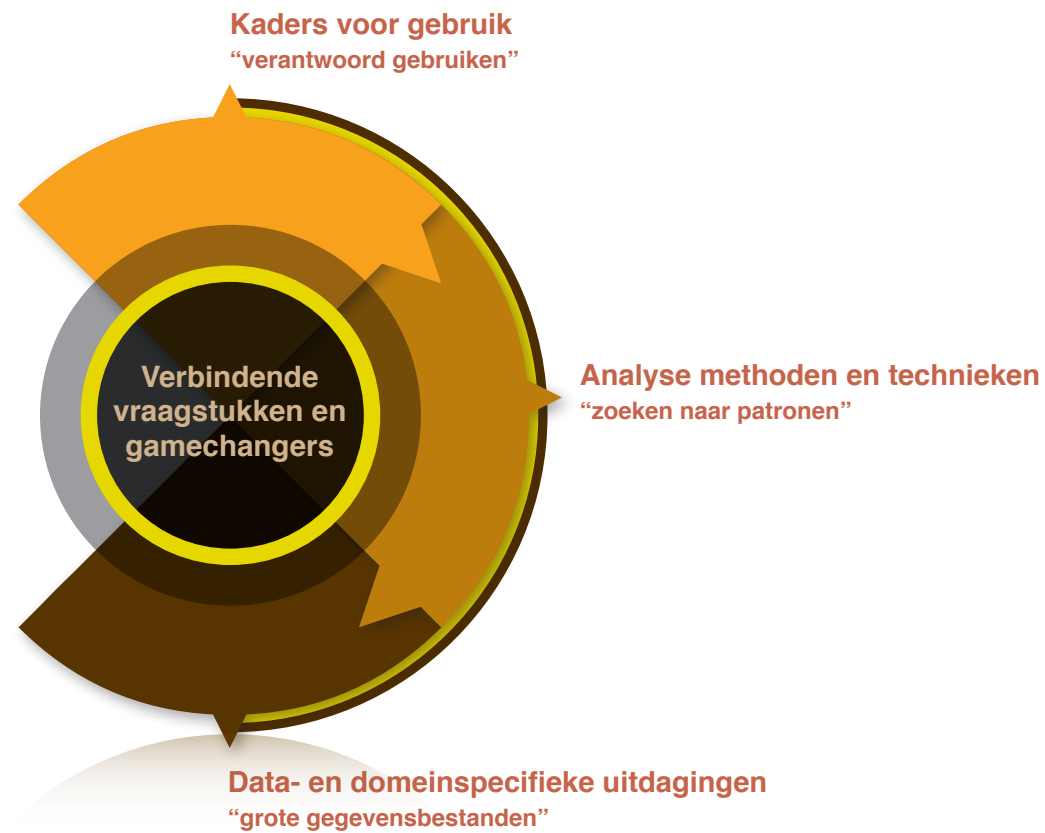
### **Bruggen slaan**

De combinatie van verantwoord gebruik en de vergroting van toegankelijkheid van big data vereist dat universiteiten, kennisinstellingen, verstrekkers van infrastructuur, overheden, bedrijven en burgerorganisaties intensief samenwerken. Veel van de huidige Nederlandse samenwerkingen op het terrein van big data zijn relatief kleinschalig en ontstaan binnen bredere onderzoeksprogramma's. Ambitieuze programma's krijgen te weinig geld om de beoogde impact te bereiken, en richten zich nauwelijks op de synergie van de twee kenniselementen in de gamechanger: verantwoorde en drempelverlagende waardecreatie uit big data. Verboddeling van financieringsbronnen en budgetten maken slagvaardig opereren moeilijk. Om bruggen te kunnen slaan tussen juridische, ethische, culturele, sociale, (bedrijfs)economische, informatiekundige en technologische aspecten, en om de slagkracht van de Nederlandse big data 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 big data 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 big data moeten worden versterkt en verbreed in de richting van data science dat ingebed is in alle toepassingsgebieden. Dat varieert van technologisch en natuurwetenschappelijk, tot juridisch en sociaal-economisch onderzoek. Universiteiten en hogescholen trekken nieuw (internationaal) talent aan dat zich richt op de uitdaging om grote gegevensbestanden verantwoord te ontsluiten.





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

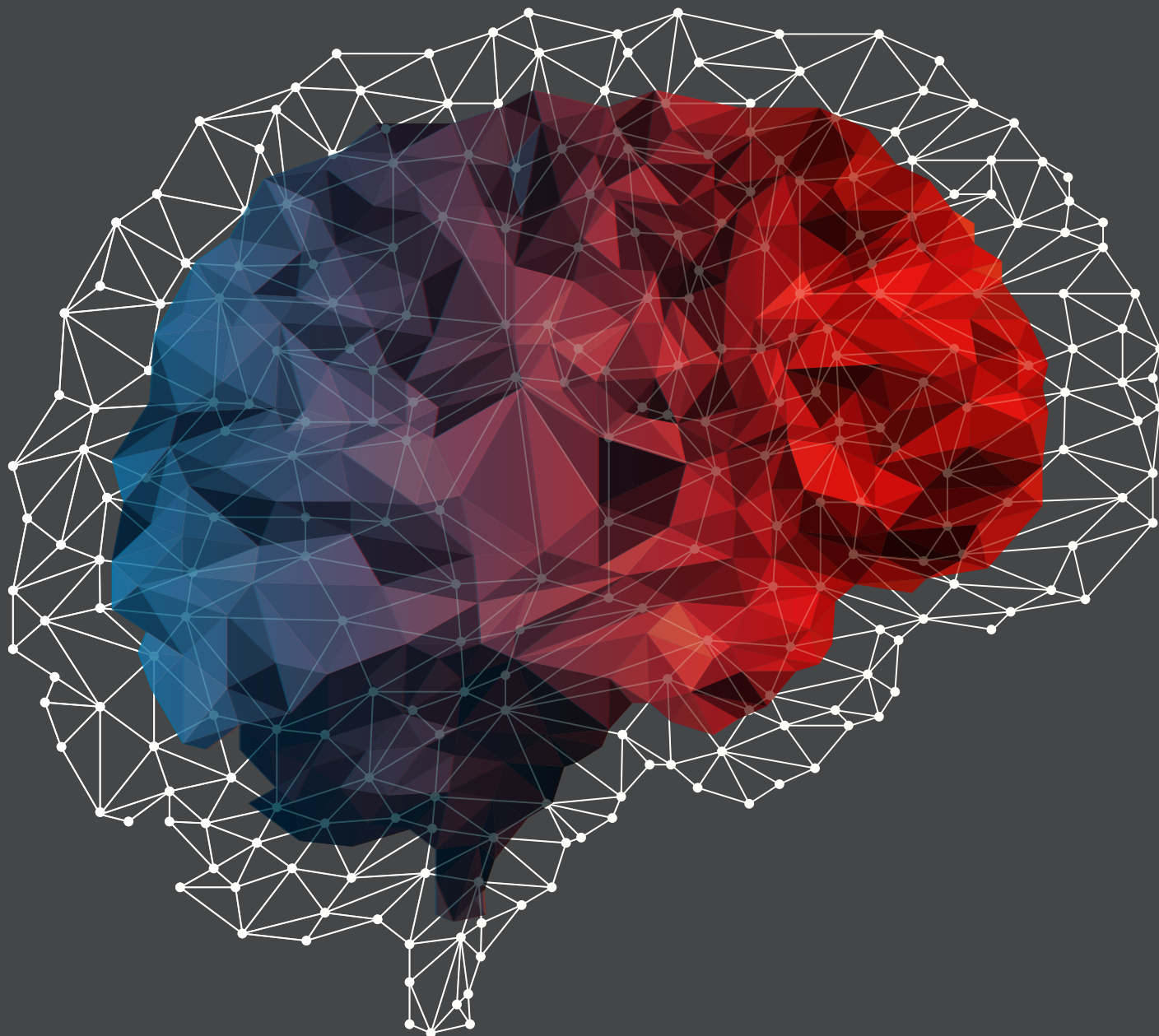
- Blijvende vernieuwing van bestaande infrastructuur en ontsluiting daarvan voor toepassingen in Nederland. De digitale mainportfunctie moet worden versterkt en uitgebreid richting big data onderzoek en toepassing. Dit omvat zowel investeringen in high-end SURF-faciliteiten, zoals up-to-date gecentraliseerde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

Het ontwikkelen van de gamechanger big data is behalve een investering in excellente wetenschap en waardecreatie ook een voorwaarde voor het succes van vele andere routes binnen de Nationale Wetenschapsagenda. ICT 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 grootschalige gegevensbestanden vereist een duurzame, multidisciplinaire samenwerking tussen universiteiten, kennisinstellingen, ministeries en bedrijven.



---

# Epiloog



In deze epiloog wordt teruggekeken op de hiervoor beschreven routes en wordt kort stilgestaan bij het totaalbeeld dat uit de individuele beschrijvingen opdoemt en de betekenis daarvan. De vele kansen die in beeld zijn gekomen vormen tezamen een indrukwekkend overzicht van doorbraken die ons te wachten staan, doorbraken op de meest uiteenlopende gebieden. Door de manier waarop de Nationale Wetenschapsagenda en het 'Portfolio voor onderzoek en innovatie' tot stand zijn gekomen is een ongekennde samenballing van kennis, inzicht en intuïtie ontstaan. Dit opent een niet eerder bestaand venster op de toekomst.



Het portfolio biedt een kleurrijk palet van de meest diverse inkijkjes en verrassende vergezichten, een schouwtoneel van uitdagingen en mogelijkheden. Binnen deze sprankelende diversiteit zijn lijnen te trekken en verbanden te zien. Meerdere routes leggen verbindingen tussen compartimenten of sectoren die momenteel veelal als gescheiden van elkaar worden gezien, geanalyseerd of beheerd. Hieronder zal kort worden ingegaan op enkele dwarsdoorsnijdende thema's die in meerdere routes te herkennen zijn. Daarna wordt stilgestaan bij een onderliggende ontwikkeling die zich in verschillende wetenschapsgebieden afspeelt en die in meer of minder expliciete vorm te herkennen valt in veel routes en dwarsdoorsnijdende thema's.

### **Inhoudelijke dwarsverbanden**

Zoals in de inleiding geschetst zijn er veel thema's die in meerdere routes aan bod komen. Sommige hebben betrekking op organisatorische of institutionele randvoorwaarden. Andere hebben betrekking op benodigde infrastructuur. Weer andere thema's raken aan het belang van onderwijs en talentontwikkeling. Daarnaast zijn er ook inhoudelijke onderzoeksthema's die in meerdere routes een rol spelen. Enkele van de meest in het oog springende van deze dwarsverbanden zijn de volgende:

- **Digitalisering en big data**

De exponentiële groei van de digitale wereld dringt door in de haarvaten van de samenving en beïnvloedt alle takken van onderzoek en innovatie. Geavanceerde meetapparatuur en sensortechnologie maken het mogelijk grote hoeveelheden data op te slaan en te bewerken die betrekking hebben op alle facetten van de kosmos, de natuurlijke omgeving, de samenleving en de mens. Dit schept nieuwe mogelijkheden voor waardecreatie. Dit onderwerp vormt een route op zich, maar big data opent ook mogelijkheden voor onderzoek op voortdurend nieuwe gebieden. Veel routes maken duidelijk dat we slechts aan het begin staan van een reeks van wetenschappelijke doorbraken op basis van big-data-onderzoek.

- **Duurzame economische groei**

Een groot aantal voorgestelde doorbraken heeft betrekking op kansen voor nieuwe technologieën en organisatievormen die economische groei en duurzaamheid verenigen. De routes benadrukken de noodzaak van nieuwe technologie en systemen op het gebied van productie, transport en logistiek, bouwen en wonen, inclusief hun sociale aspecten.

- **Burgerschap**

Veel routes refereren aan de versterking van burgerschap. De verandering van de verhouding tussen overheden en burgers is een echte gamechanger op zich. Onderzoek brengt de consequenties hiervan in beeld voor competenties zowel op individueel als maatschappelijk niveau, en geeft de betekenis van deze transitie aan voor productiesystemen en overheden.



- **Inrichten en beheren van de omgeving**

Duurzaam omgevingsbeheer is van belang in meerdere routes. Hierbij komen alle aspecten van duurzaamheid aan de orde: people, planet en profit. De routes benadrukken enerzijds de noodzaak van nieuwe patronen van productie en consumptie, en anderzijds de noodzaak van nieuwe vormen van governance, zowel op nationaal als mondiaal niveau. De integrale conceptualisering, modellering en monitoring hiervan wordt urgent genoemd.

- **Individualisering en maatwerk**

De gerichtheid op het individu speelt in meerdere routes een rol. Op de eerste plaats uit dit zich duidelijk in op het individu gerichte medisch zorg en medische technieken, maar ook in persoonlijke keuzes voor levensstijl, voedsel, en bewegen. Dit heeft consequenties voor de organisatie van de gezondheidszorg. Daarnaast komt individualisering terug in het onderwerp educatie, waar meerdere routes aandacht aan besteden. Ook bij conflictbeheersing speelt het een rol. Op een abstracter niveau is in alle routes aandacht voor variatie in plaats van het gemiddelde aan de orde.

Zonder uitzondering hebben deze dwarsdoorsnijdende onderwerpen betrekking op brede maatschappelijke ontwikkelingen die van grote invloed zijn op samenleving en economie maar die ook een doorwerking hebben in tal van takken van wetenschap.

### **Complexe systemen**

De routes schetsen steeds een eigen beeld van de toekomst en van potentieel grensverleggende doorbraken die in het verschiet liggen. Maar binnen het geheel van de routes en dwarsdoorsnijdende thema's vallen ook onderliggende ontwikkelingen te herkennen, die dieper graven en verder vooruit reiken dan de individuele routes en thema's op zich. Het gaat om ontwikkelingen die zich gelijktijdig aftekenen in uiteenlopende wetenschapsgebieden, en zich op meer of minder expliciete wijze manifesteren in vrijwel alle routes. Een in het oog springende ontwikkeling, die van strategisch belang is voor de gehele breedte van het portfolio, betreft het bestuderen van complexe systemen met behulp van patroonherkenning in grote, diverse gegevensbestanden.

Het ontdekken van patronen in grote hoeveelheden data is van groeiend belang in alle disciplines, en speelt dan ook een rol in alle onderzoeksagenda's. Als gevolg van digitalisering worden discrete verschijnselen en gescheiden facetten van de werkelijkheid – van de samenleving, de levende natuur of de fysieke wereld – uitgedrukt in eenzelfde digitale vorm. Het wordt hierdoor mogelijk patronen te ontdekken en te vergelijken, en zo dwarsverbanden te leggen en te bestuderen die voorheen ondenkbaar en niet onderzoekbaar waren. De exponentieel groeiende digitale wereld brengt inherente verbindingen aan het licht tussen werkelijkheidsgebieden die we voorheen als gescheiden van elkaar hadden beschouwd.



Bij het herkennen van patronen in grote hoeveelheden verschillende gegevens speelt in veel routes een integraal systeemperspectief een rol. Steeds gaat het daarbij om het benaderen van complexe en dynamische interacties vanuit een omvattend model dat verschillende domeinen en verschillende schaalniveaus met elkaar verbindt. Afhankelijk van de betreffende route en thematiek worden daarbij verschillende schalen gehanteerd. Het kan bijvoorbeeld gaan om conflicten op een schaal die reikt van individuen via groepen tot aan staten; om schalen die lopen van het moleculaire niveau tot aan het niveau van de biosfeer; of om schalen die zich uitstrekken van het niveau van een gebouw, via buurt, wijk, stad en regio tot een land.

Door deze verschillen in thematiek en bijbehorende schalen vallen onderliggende overeenkomsten wat minder op. Het hanteren van een integraal systeemperspectief speelt echter een meer of minder expliciete rol in veel routes. Sleutelbegrippen, zowel in de natuurwetenschappen, de sociale wetenschappen als de geesteswetenschappen zijn emergentie, complexiteit, veerkracht en schaaloverstijging, ofschoon die begrippen niet overal worden benoemd.

Systeembenaderingen beogen het geheel te overzien, in plaats van zich te concentreren op afzonderlijke deelsystemen. Het gedrag van een systeem is een samenspel van onderling wisselwerkende deelsystemen, waarbij terugkoppeling een belangrijke rol speelt. Er is dringend behoefte aan meer inzicht in de werking van complexe systemen. We moeten de werkelijkheid en haar dynamiek vanuit verschillende invalshoeken vergelijken en een studie maken van het gedrag van het geheel van de verschillende componenten. Dit vraagt om complementaire en vaak ongelijksoortige metingen vanuit verschillende invalshoeken en op verschillende lengte- en tijdschalen.

Wetenschapsgebieden waarin dit soort systeembegrip voor doorbraken kan zorgen verschillen van elkaar. Maar op een wat hoger abstractieniveau zijn de vraagstellingen opvallend gelijk. Emergentie verbindt alle mogelijke schalen en op elk schaalniveau vertonen losse bouwstenen rijk en complex gedrag dat beheerst wordt door universele organiserende principes. Als het overzicht van de routes iets duidelijk maakt, is het dat het potentieel van een integrale systeembenadering enorm is. Niet alleen speelt zo'n benadering een rol in een groot aantal routes, hij draagt ook de mogelijkheid in zich van tot dusver nog niet verkende vergaande samenwerking tussen, of integratie van, verschillende routes.







