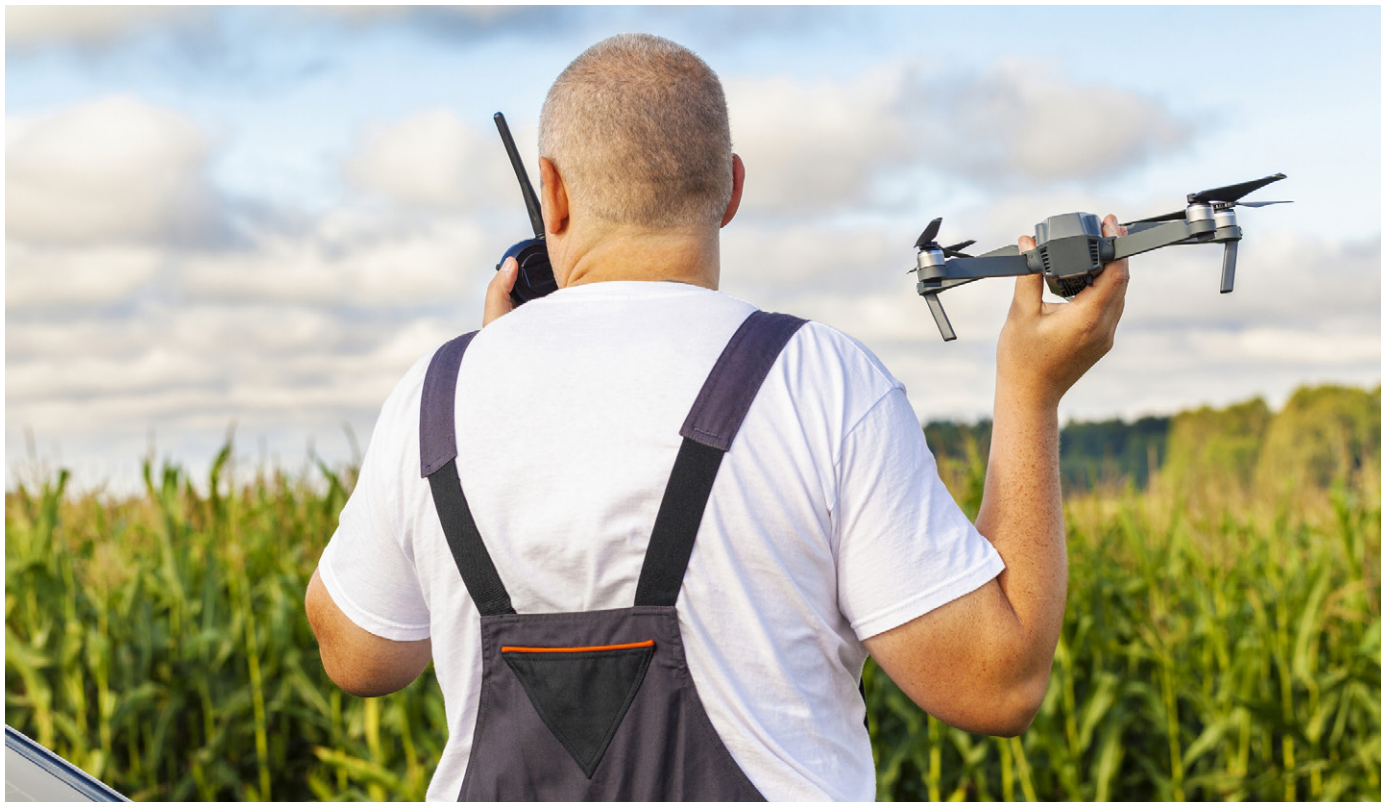


DE POTENTIËLE BIJDRAGE VAN TECHNOLOGIE AAN MAATSCHAPPELIJKE UITDAGINGEN



TNO innovation
for life



INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
1.1	Conceptueel raamwerk	6
1.2	Opbouw rapport	7
2	OVERZICHT: MAATSCHAPPELIJKE BIJDRAGE VAN 8 TECHNOLOGIECLUSTERS	9
2.1	Samenvattingstabel: impact op vier maatschappelijke uitdagingen	9
3	SLEUTELTECHNOLOGIEËN IN DETAIL	13
3.1	Geavanceerde materialen	15
3.2	Kwantumtechnologieën	13
3.3	Fotonica	16
3.4	Digitale technologieën	17
3.5	Nanotechnologie	19
3.6	Chemische technologieën	20
3.7	Life science technologieën	22
3.8	Engineering & fabrication technologieën	24
3.9	Discussie	25
4	STAPSGEWIJZE KOPPELING VAN TECHNOLOGIEËN AAN MAATSCHAPPELIJKE UITDAGINGEN IN EEN AANTAL CASES	27
4.1	Wind op Zee	27
4.2	Hoogwaardige uitgangsmaterialen	29
4.3	Point-of-care (lab-on-a-chip)	30
4.4	Digitale veiligheid	31
4.5	Electrochemische conversie	33
4.6	Connected en Coöperatieve Automatische Mobiliteit (CCAM)	34
4.7	Discussie	35
5	BEVINDINGEN EN AANDACHTSPUNTEN	37
	BIJLAGE 1 KOPPELING 50 SLEUTELTECHNOLOGIEËN AAN 10 VERNIEUWINGSOPGAVEN	39
	BIJLAGE 2 CORRESPONDENTIEMATRIX INNOVATIEOPGAVEN EN MAATSCHAPPELIJKE UITDAGINGEN	40



1 INLEIDING

Hoe lossen wij de grote maatschappelijke uitdagingen van de 21e eeuw op? De geschiedenis laat zien dat grote vraagstukken een combinatie vergen van sociale, institutionele en technologische vernieuwingen. De sterke verbetering van de gezondheid en de toename van de levensverwachting in de 20e eeuw zijn niet alleen te danken aan nieuwe medische technologie maar zeker en wellicht meer aan verbeterde voeding en hygiëne (waterleiding, riolering, voorlichting).

Tegelijkertijd leven we in een tijd van technologische versnelling en kenmerken technologische ontwikkelingen zich door een eigen autonome dynamiek – denk daarbij aan de steeds groeiende mogelijkheden die de life science technologieën bieden of aan de grote impact van informatietechnologie op de manier waarop we leven en werken (bijvoorbeeld de platformeconomie).

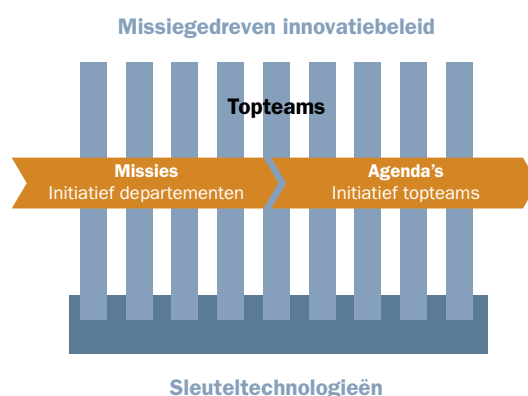
Ook in de toekomst zullen technologie en innovatie een grote impact hebben op de maatschappelijke uitdagingen. Maar hoe bijvoorbeeld kwantumtechnologie zich gaat ontwikkelen en tot toepassing gaat komen, is nog niet duidelijk. Bij andere technologieën zijn toepassingen wat dichterbij en kunnen we in kaart brengen hoe technologie bij kan dragen aan het adresseren van maatschappelijke vragen. Kansen zoals flexibele zonnepanelen voor grootschalige toepassing op gebouwen, elektrische auto's en alternatieven voor de Nederlandse gasconsumptie en -productie bijvoorbeeld. Of het duurzaam productiever maken van landbouwgrond met geavanceerde meet- en regelapparatuur en het betaalbaar en toegankelijk houden van zorg met behulp van zorgrobots.

De Kamerbrief Naar Missiegedreven Innovatiebeleid met Impact¹ stelt: “missies zijn richtinggevend voor het opstellen van publiek-private kennis- en innovatieagenda's (KIA's). Daarmee zijn niet langer sectoren, maar maatschappelijke uitdagingen en sleuteltechnologieën het uitgangspunt van die agenda's.” Terwijl de missies in eerste instantie de verantwoordelijkheid zijn van de departementen, neemt het Ministerie van EZK het voortouw met betrekking tot de sleuteltechnologieën: “voor de sleuteltechnologieën zullen op initiatief van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) door de relevante topsectoren, departementen en kennisinstellingen meerjarige programma's worden

opgesteld om de ontwikkeling en benutting van deze *enabling* technologieën (waaronder ICT) te versnellen.”² Figuur 1 laat de samenhang tussen missies en sleuteltechnologieën zien. Dit rapport geeft een eerste aanzet voor het koppelen van sleuteltechnologieën aan maatschappelijke uitdagingen, maar gaat nog niet in op missies omdat deze door de Departementen ontwikkeld gaan worden. In plaats daarvan brengen we in kaart hoe sleuteltechnologieën via toepassingen in innovatieopgaven kunnen bijdragen aan het adresseren van maatschappelijke uitdagingen.

De bijdrage van brede, enabling sleuteltechnologieën, zoals fotonica of chemische technologie, aan maatschappelijke uitdagingen is zoals gezegd niet altijd evident, omdat beiden een eigen autonome dynamiek kennen. Dit rapport maakt in een aantal stappen en voorbeelden inzichtelijk hoe deze koppeling tot stand kan komen.

Figuur 1 – Missiegedreven innovatiebeleid



Bron: Kamerbrief p. 5.

Welke kansen zijn er dan om door de gerichte inzet van (combinaties van) sleuteltechnologieën stappen te zetten in de richting van het adresseren van die vragen? En op welke manier kunnen er op deze wijze kansen gecreëerd worden voor het Nederlandse bedrijfsleven? Deze rapportage is daarmee bedoeld als inhoudelijke inspiratie voor partijen die onderzoek- en innovatieprogramma's programmeren, zowel vanuit het perspectief van technologieën als van maatschappelijke vragen.

1 Ministerie van EZK. Kamerbrief Naar Missiegedreven Innovatiebeleid met Impact, 13 juli 2018, p.4.

2 Ibid. p. 3.

1.1 CONCEPTUEEL RAAMWERK

Dit rapport geeft inzicht in hoe technologieën potentieel bijdragen aan oplossingen voor maatschappelijke uitdagingen. Het maakt inzichtelijk hoe de twee sporen van het innovatiebeleid (sleuteltechnologieën en maatschappelijke uitdagingen) bij elkaar kunnen komen. Op die manier kan het rapport gebruikt worden om partijen samen te brengen om via technologie-ontwikkeling en -toepassing maatschappelijke uitdagingen op te pakken.

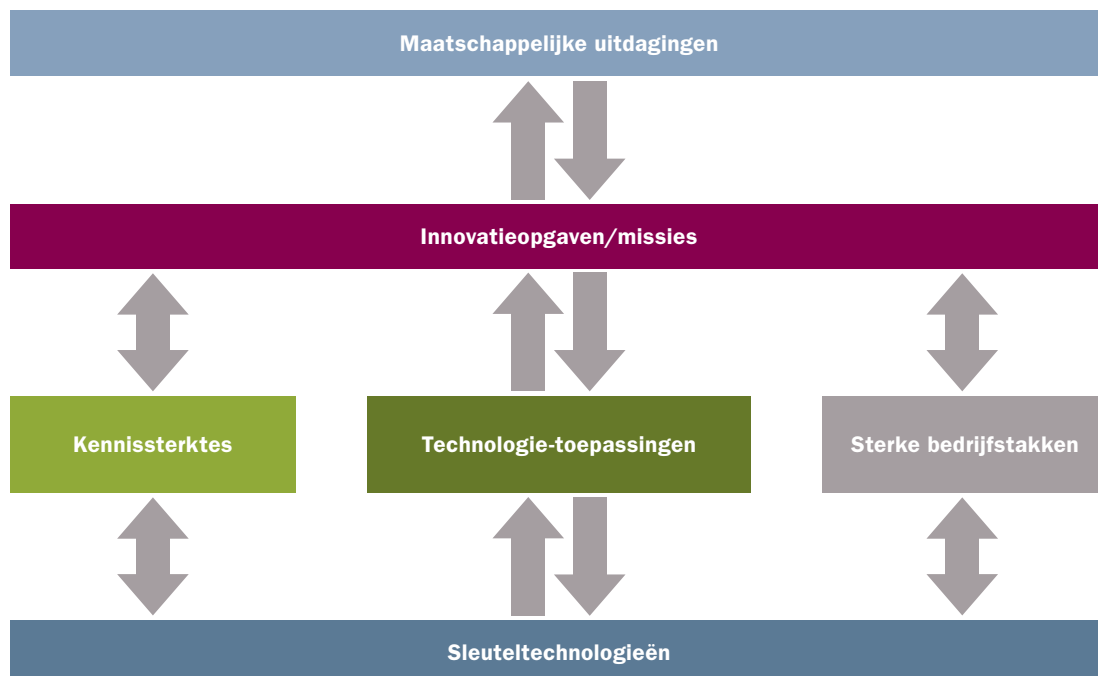
In de volgende hoofdstukken brengen wij de potentie van sleuteltechnologieën om bij te dragen aan het oplossen van maatschappelijke uitdagingen in kaart.^{3,4} Figuur 2 illustreert deze bijdrage. Innovatieopgaven zijn concrete vragen van maatschappelijke spelers (bedrijven, overheden burgers) die een kennisdoorbraak, een nieuwe technologie of een gedragsverandering vragen. Zij kunnen gezien worden als de schakel tussen technologieën en technologie-toepassingen enerzijds en de brede maatschappelijke uitdagingen zoals gezondheid en zorg, en energie en duurzaamheid anderzijds. De innovatieopgaven die in het rapport “Portfolioanalyse: kansrijke innovatieopgaven voor Nederland” zijn gedefinieerd, staan hierbij centraal.

Technologie draagt (samen met sociale innovaties, nieuwe businessmodellen en veranderingen in gedrag) bij aan het adresseren van maatschappelijke uitdagingen via toepassing in concrete, baanbrekende proces-, product- en/of diensteninnovaties. Deze innovaties kunnen vervolgens een ondersteunende of kernrol spelen in een breder geformuleerde innovatieopgave. Een innovatieopgave draagt op haar beurt weer bij aan het oplossen van maatschappelijke uitdagingen.

Naast dit technologieperspectief, dat zijn basis vindt in de snelle autonome ontwikkeling van wetenschap en technologie, is een tweede vraag-gedreven perspectief minstens zo belangrijk. De noodzaak bijvoorbeeld om nierpatiënten een beter leven te geven vereist de ontwikkeling van een draagbare kunstnier en deze vraagt weer nieuwe (combinaties van) technologieën en miniaturisering. De ontwikkeling van wind op zee is een reactie op bezwaren tegen wind op land en vraagt allerlei nieuwe technologische oplossingen bijvoorbeeld betreffende corrosie in een zoute omgeving en het bouwen in zee.

In het model in figuur 2 staat de interactie tussen vragen uit maatschappij en bedrijfsleven enerzijds en het aanbod van en kansen door nieuwe

Figuur 2 – Sleuteltechnologieën, innovatieopgaven en maatschappelijke uitdagingen



Bron: TNO op basis van TNO (2017) *Portfolioanalyse: kansrijke innovatieopgaven voor Nederland* (aangevuld met technologie-toepassingen)

3 Uitgangspunt voor de analyse vormt de lijst met vijftig sleuteltechnologieën (geclusterd in acht groepen) uit het Memo Sleuteltechnologieën (2017) opgesteld door NWO en TNO ten behoeve van het Ministerie van EZK en welke is gevalideerd door de High Level Group Sleuteltechnologieën in juni 2018. In deze lijst zijn (nog) niet meegenomen de zogenaamde sleutelmethodeologieën uit de gedrags- en sociale wetenschappen.

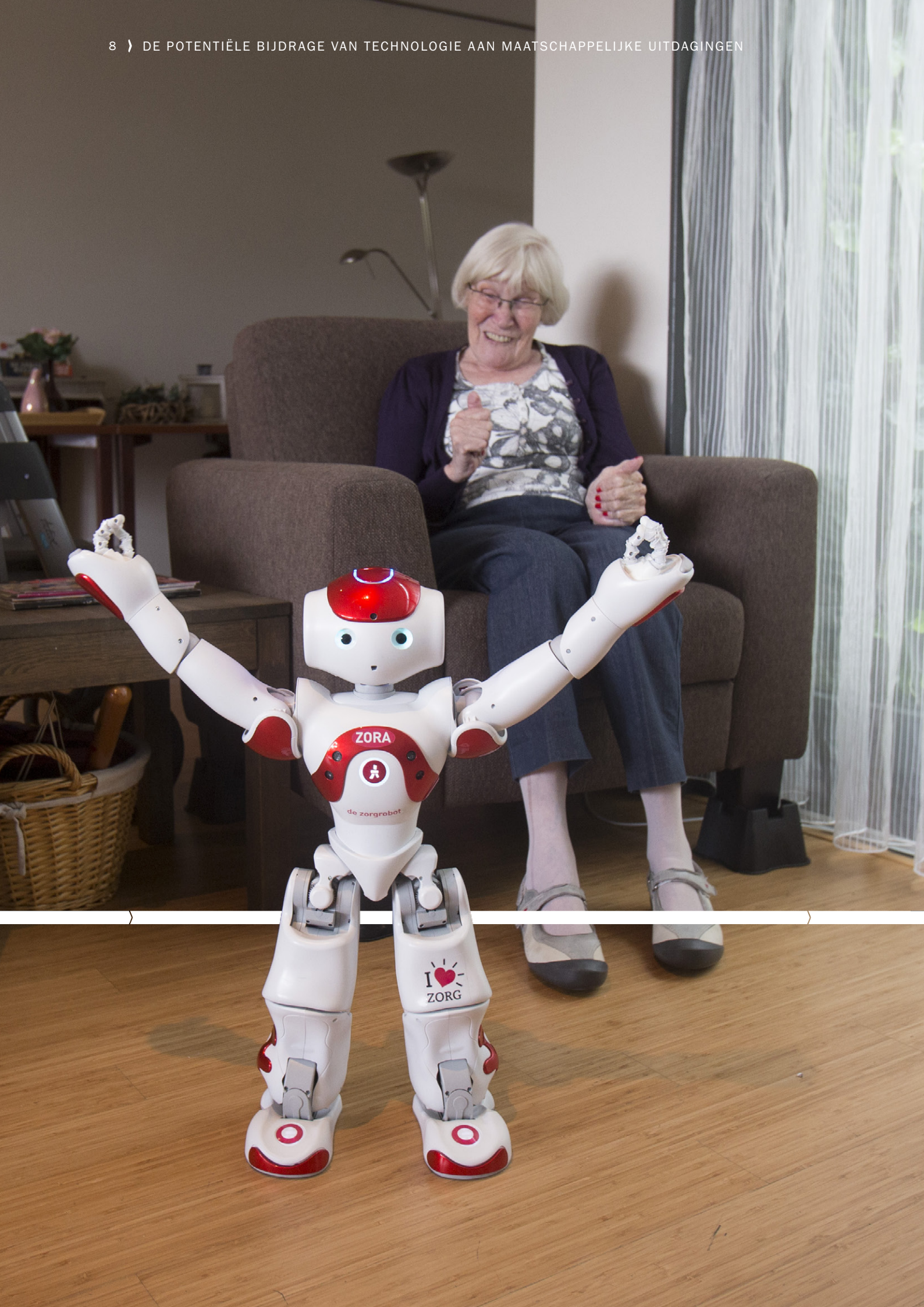
4 Op basis van de 40 innovatieopgaven die ten behoeve van de Portfolioanalyse werden ontwikkeld. Deze innovatieopgaven kunnen een bijdrage leveren aan de door de Departementen te ontwikkelen missies.

technologie anderzijds centraal. Daarin vervullen bedrijven, kennisinstellingen, overheden en maatschappelijke organisaties ieder een eigen rol.

In dit rapport richten we ons op de vier maatschappelijke uitdagingen zoals genoemd in de Kamerbrief Naar Missiegedreven Innovatiebeleid met Impact: energietransitie en duurzaamheid; landbouw, water en voedsel; gezondheid en zorg; en veiligheid.

1.2 OPBOUW RAPPORT

Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de potentiële bijdrage van de 50 sleuteltechnologieën aan deze vier maatschappelijke uitdagingen. In hoofdstuk 3 geven wij per technologiecluster een beschrijving van de technologie en een toelichting op de bijdrage aan maatschappelijke uitdagingen met een aantal voorbeelden van toepassingen. Hierbij nemen we naast de zes maatschappelijke uitdagingen uit de Kamerbrief, ook de maatschappelijke thema's rond mobiliteit, smart production en smart cities mee. Hoofdstuk 4 laat door vier voorbeelden zien hoe verschillende technologieën gecombineerd een oplossing kunnen bieden voor een maatschappelijke uitdaging. Wij sluiten in hoofdstuk 5 af met de bevindingen en aandachtspunten.



2 OVERZICHT: MAATSCHAPPELIJKE BIJDRAGE VAN 8 TECHNOLOGIECLUSTERS

Figuur 3 – Samenvattingstabel sleuteltechnologieën & maatschappelijke uitdagingen

	Energie-transitie en duurzaamheid	Landbouw, water en voedsel	Gezondheidszorg	Veiligheid
Geavanceerde materialen				
Kwantumtechnologieën				
Fotonica				
Digitale technologieën				
Nanotechnologie				
Chemische technologieën				
Life science technologieën				
Engineering & fabrication technologieën				

• Lage potentiële bijdrage • Gemiddelde potentiële bijdrage • Hoge potentiële bijdrage

Bron: TNO

Dit hoofdstuk geeft een samenvatting van de potentiële bijdrage van technologieën aan maatschappelijke uitdagingen. Daartoe werden eerder de 50 sleuteltechnologieën geclusterd in acht technologiegroepen. Deze worden gekoppeld aan de vier maatschappelijke uitdagingen zoals geïdentificeerd in de Kamerbrief.

2.1 SAMENVATTINGSTABEL: IMPACT OP VIER MAATSCHAPPELIJKE UITDAGINGEN

Sleuteltechnologieën hebben door hun brede enabling karakter de potentie een bijdrage te leveren (in samenspel met sociale innovaties, nieuwe businessmodellen en beleid) aan alle maatschappelijke uitdagingen. Figuur 3 geeft een samenvatting van de potentiële bijdrage van sleuteltechnologieën aan het oplossen van de vier maatschappelijke uitdagingen. Hoe donkerder het vlak hoe groter de potentiële bijdrage van deze technologiegroep aan de maatschappelijke uitdaging. De potentiële bijdrage is gebaseerd op een inschatting van de huidige en toekomstige toepassingen van de sleuteltechnologieën en het belang van deze toepassingen voor het oplossen van de maatschappelijke uitdagingen (zie Tekstbox 1 voor meer uitleg over de methodologie). Elke maatschappelijke uitdaging omvat zes tot negen innovatieopgaven. Elke groep sleuteltechnologieën bestaat uit drie tot negen technologieën.

De bijdrage van sleuteltechnologieën

Hoewel sleuteltechnologieën kunnen bijdragen aan alle maatschappelijke thema's zijn sommige meer generiek van aard terwijl anderen een meer specifieke toepassing hebben. Zo zitten digitale technologieën in het hart van veel innovatieopgaven (figuur 2). Daarnaast zorgen digitale technologieën voor een paradigmaverandering in andere sleuteltechnologieën zoals bijvoorbeeld in engineering & fabrication technologieën (bijv. sensoren) en fotonica (bijv. optische communicatie). Deze technologieën worden daarom bovengemiddeld gewaardeerd op hun potentiële bijdrage aan de maatschappelijke uitdagingen. Kwantumtechnologieën scoren nog relatief laag vanwege een hogere onzekerheid over toekomstige toepassingen. Deze technologie is het minst volwassen.

De chemische en life science technologieën zijn minder generiek van aard dan ICT en dragen specifiek bij aan een aantal uitdagingen. De chemische technologieën zijn met name relevant voor de energietransitie (bijvoorbeeld voor energieconversie) en duurzaamheid (bijvoorbeeld scheiden van materialen in circulaire economie). Life science technologieën leveren een essentiële bijdrage aan de maatschappelijke uitdaging gezondheid en zorg (naast de impact op de industrie – witte biotechnologie).

Nanotechnologie en geavanceerde materialen worden toegepast in een veelheid van producten en in andere technologie. Nanotechnologie draagt bij aan veel technologie-toepassingen zoals coatings, sensoren en chips. Hierdoor is de bijdrage aan de vier maatschappelijke uitdagingen gemiddeld. Ditzelfde geldt voor geavanceerde materialen. Sommige geavanceerde materialen hebben unieke energieopslag en -conversie eigenschappen. Ontwikkelingen in dit veld zijn essentieel voor het maken van nieuwe opslagsystemen voor hernieuwbare energie. Daarom is de potentiële bijdrage van geavanceerde materialen aan de energietransitie hoog. Daarnaast worden geavanceerde materialen toegepast in beschermende kleding en bepantsering van voertuigen van civiele en militaire diensten.

Vier maatschappelijke uitdagingen

Voor alle vier maatschappelijke uitdagingen kunnen wij in potentie een grote bijdrage van de technologieën verwachten. Opvallend is de maatschappelijke uitdaging rond de **energietransitie en duurzaamheid**. Het adresseren van deze uitdaging vraagt om de inzet van een groot aantal verschillende technologieën: van chemische technologie en geavanceerde materialen voor energieconversie en -opslag tot digitale technologieën voor een smart grid en engineering en fabrication technologie (bijvoorbeeld aanleg van

windparken op zee). In **gezondheid en zorg** spelen nieuwe life science technologieën de hoofdrol in de ontwikkeling van nieuwe diagnostiek en behandelmethoden. Het thema **veiligheid** omvat niet alleen fysieke veiligheid, operationele veiligheid (militair en civiel) en cybersecurity, maar ook waterveiligheid. Geavanceerde materialen (bijvoorbeeld composieten), digitale technologieën (informatievoorziening en logistiek) en engineering & fabrication technologieën (sensoren) spelen een belangrijke rol. Nieuwe geïntegreerde beheersystemen voor **landbouw, water en voedsel** zijn in de kern gebaseerd op digitale technologieën en engineering en fabrication technologies.

Meer dan vier maatschappelijke uitdagingen

Naast de vier maatschappelijke uitdagingen zoals genoemd in de Kamerbrief hebben wij ook gekeken naar andere uitdagingen. In het rapport “Portfolioanalyse: kansrijke innovatieopgaven voor Nederland” (2017) zijn tien vernieuwingsopgaven of thema’s gedefinieerd. Hieronder vallen bijvoorbeeld de thema’s mobiliteit, smart production en smart cities. Het volgende hoofdstuk geeft meer inzicht in de maatschappelijke impact van elk technologiecluster, waarbij ook deze thema’s worden meegenomen in de analyse.

Tekstbox 1 - Methodologie samenvattingstabel in vier stappen

Elke maatschappelijke uitdaging of vernieuwingsopgave is opgebouwd uit een aantal innovatieopgaven. Elke groep sleuteltechnologieën bestaat uit drie tot negen technologieën. Voor alle 50 technologieën (in acht groepen) is onderzocht wat de bijdrage is aan elke innovatieopgave. Hierdoor ontstaat een grote matrix. Om de link te leggen tussen sleuteltechnologieën en innovatieopgaven is de volgende vraag beantwoord:

“In welke mate kan de technologie toegepast worden ten behoeve van de innovatieopgave?”

Daar kan op de volgende manieren op geantwoord worden:

- Niet toegepast (score 0)
- Toegepast in een ondersteunende rol (score 1)
- Toegepast in een kernrol (score 2)

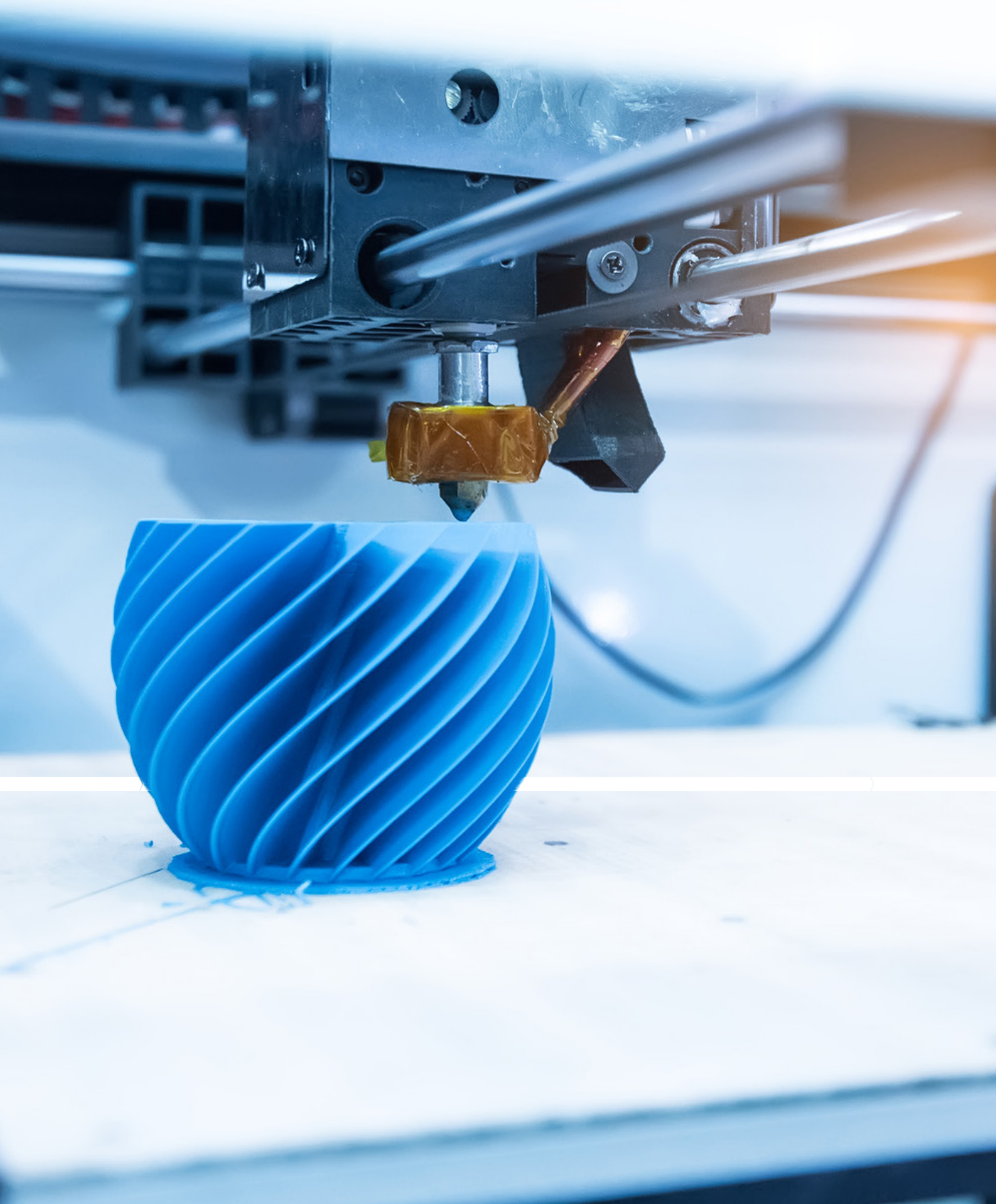
Een technologie speelt een kernrol als deze zelfstandig tot doorbraken leidt; denk bijvoorbeeld aan robotica. Andere technologieën zoals coatings hebben een zeer breed toepassingsdomein, maar worden meestal gebruikt als onderdeel in andere toepassingen. Deze technologieën hebben een ondersteunende rol.

De scoring vond plaats op basis van desk research en werd gevalideerd door gesprekken met TNO-experts (stap 1). Vervolgens zijn de innovatieopgaven gekoppeld aan de vier maatschappelijke uitdagingen⁵ (stap 2). Daarna is de gemiddelde score van elke groep sleuteltechnologieën voor elke maatschappelijke uitdaging berekend (stap 3). Met gebruik van twee grenswaarden is de gemiddelde score vertaald naar drie kleuren groen (stap 4).⁶

5 Uit: Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2018). Kamerbrief Naar Missiegedreven Innovatiebeleid

6 Bijlage 2 bevat een correspondentiematrix van de innovatieopgaven met de vernieuwingsopgaven en maatschappelijke uitdagingen. Meer details zijn te vinden in de bijlage.





3 SLEUTELTECHNOLOGIEËN IN DETAIL

Dit hoofdstuk gaat dieper in op de acht technologieclusters. Wij geven een eenvoudige uitleg van de technologieën en een aantal voorbeelden van toepassingen en de impact op maatschappelijke uitdagingen.

3.1 GEAVANCEERDE MATERIALEN

Nieuwe materialen spelen direct én indirect een belangrijke rol in het adresseren van maatschappelijke uitdagingen. Nieuwe typen materialen

kunnen producten verbeteren of verduurzamen.

De belangrijkste bijdragen van materialen liggen in de energietransitie en duurzaamheid, en daarnaast in de thema's rond gezondheid en zorg. Daarnaast is er een significante bijdrage in smart production, bijvoorbeeld in 3D printen / additive manufacturing. Eerst kon dat alleen met plastic, nu met steeds meer soorten metaal en ook met biomaterialen als bot en weefsel.

Wat zijn geavanceerde materialen?

Nieuwe typen materialen, met revolutionaire eigenschappen, kunnen op basis van de grootte van de deeltjes ingedeeld worden. Nanomaterialen bestaan uit deeltjes die één of meer externe dimensies bezitten met een bereik van 1 nm tot 100 nm. Coatings en thin films zijn dunne lagen van materiaal variërend van nano tot micro-schaal met bijvoorbeeld een beschermende of reflecterende eigenschap. Daarnaast vormen organische (biomaterialen, zoals eiwitten en cellen) en anorganische materialen een aparte categorie.

Elk materiaal heeft zijn eigen unieke eigenschappen. Er zijn materialen die gebruikt worden in een coating speciaal voor een optische (bijvoorbeeld licht reflecterend/absorberend), elektronische of magnetische eigenschap. Structurele materialen worden gebruikt vanwege hun mechanische eigenschappen. Zo kunnen materialen sterker gemaakt worden door vezels toe te voegen aan kunststof. Dit is een composiet, een materiaalconstructie bestaande uit meerdere materialen.

Metamaterialen onderscheiden zich van andere mechanische materialen door de ongebruikelijke structuur van het materiaal, waardoor de eigenschappen flexibel zijn: ze kunnen transformeren van vorm of veranderen van stijf in flexibel. Er zijn ook slimme materialen. Dit zijn materialen die reageren op veranderingen in de omgeving, zoals licht, warmte of druk. Deze materialen kunnen bijvoorbeeld veranderen van kleur of zichzelf herstellen.

Onder energieopslag en -conversie materialen vallen alle materialen voor het energiedomein, bijvoorbeeld materialen voor zonnecellen of batterijen. Dit kunnen nanomaterialen zijn, maar ook coatings op microniveau.

Geavanceerde materialen

- Energy storage materials
- Energy conversion materials
- Optical, electronic, magnetic materials (incl. 2D and graphene)
- Smart, self-healing, self-organizing materials
- Thin films and coatings
- Designer and meta materials
- Composites and ceramics (ceramics for energy conversion/storage)
- Bio(related) and soft materials
- Structural materials
- Nanomaterials (zie nanotechnologie)

Impact op innovatieopgaven

Energie is het eerste belangrijke toepassingsdomein. Coatings beschermen zonnecellen tegen extreme weersomstandigheden en nieuwe combinaties van materialen, zoals grafeen (nanomateriaal), keramiek of metamaterialen, verbeteren de efficiëntie van zonnecellen. Andere voorbeelden zijn materialen met een grote energieopslagcapaciteit voor batterijen en waterstof, en composieten en coatings in windmolens en ramen. Composieten maken de windturbines sterker. Vezels, sensoren en coatings in windbladen worden gebruikt om de spanning op de bladen te meten en de kans op schade te verkleinen. Ramen met slimme, optische coatings veranderen van kleur, zodat het energieverlies in woningen beperkt wordt. Ook leveren nieuwe materialen een belangrijke bijdrage aan energie en duurzaamheid door nieuwe samenstellingen van beton, asfalt, staal en composietmaterialen. Gezien het grote volume van het gebruik van deze materialen in bouw en infrastructuur kunnen geavanceerde materialen een belangrijke bijdrage leveren aan het besparen (en oogsten) van energie.

Een tweede bijdrage ligt in de gecombineerde opgaven klimaat, water en hulpbronnen. Nieuwe afbreekbare (bijvoorbeeld structurele) materialen of slijtvaste coatings helpen bij het duurzaam gebruik van onderdelen in de circulaire economie. En specifieke nanomaterialen hebben een reinigende werking voor (grond)water en lucht, waardoor grondstoffen en water eerder opnieuw gebruikt wordt (gesloten ketens). Onderzoek naar biomaterialen in de bio-based industrie levert nieuwe duurzamere voedsel (bijvoorbeeld voedselverpakkingen) en niet-voedsel toepassingen (bijvoorbeeld biobrandstoffen en plastics) op.

De studie naar materialen speelt daarnaast een grote rol in innovaties voor zowel de gezondheidszorg (bijvoorbeeld biomaterialen voor het printen van organen of organen op een chip) en de industrie (betere sensoren en 3D printen van mechanische onderdelen of modellen o.b.v. verschillende type materialen). Uiteindelijk zorgen nieuwe zelf reparerende materialen voor een veiligere infrastructuur. Geavanceerde materialen spelen daarnaast een belangrijke rol in het beschermen van mens en objecten tegen fysieke en chemische dreigingen, bijvoorbeeld door het gebruik van structurele materialen in helmen, meta-materialen voor het minder zichtbaar maken van objecten op de radar en keramiek en composiet voor de bepantsering van voertuigen.

Netwerken en actoren

In de programmering van onderzoeks- en innovatieactiviteiten op het gebied van geavanceerde

materialen speelt de roadmap High Tech Materials van de Topsector HTSM een coördinerende rol. De roadmap richt zich op materialen voor toepassingen in: luchtvaart, automotive, medische materialen, professionele- en consumenten producten, rail en veiligheid. Overkoepelend zijn klimaat- energie en duurzaamheidsdoelstellingen een belangrijke drijfveer voor de materiaalontwikkelingen. Dit maakt dat er ook (veel) bedrijven en instellingen vanuit verschillende bedrijfstakken in Nederland actief zijn rond geavanceerde materialen – zowel grote gevestigde spelers als Tata Steel (de trekker van de roadmap) en start-ups. Wat betreft de sector bouw is het van belang het Bouw en Techniek Innovatiecentrum (BTIC) dat zich onder meer richt op een energieneutrale gebouwde omgeving.

Brightlands Materials Center (Geleen), TNO/ECN, NLR (lucht- en ruimtevaartonderzoek; Amsterdam, Marknesse en Schiphol), en WMC (materiaal testcentrum; Wieringerwerf) spelen een belangrijke rol in de ontwikkeling en valorisatie van nieuwe geavanceerde materialen. Voorbeelden van samenwerkingsverbanden en platformen zijn het DPI Polymer Research Platform in Eindhoven, waarin pre-competitief door industriële bedrijven wordt gewerkt aan materiaalontwikkeling. Het Dutch Composites Platform richt zich op compositontwikkeling en toepassing. Daarnaast vinden op het specifieke terrein van (zonne-)energiematerialen zoals thin films binnen Solliance, op de High Tech Campus in Eindhoven, onderzoeksactiviteiten in partnerschap tussen ECN/TNO en Imec (België) plaats.

Deze laatste actor wordt ook genoemd in de top-5 van Nederlandse instellingen die wetenschappelijk publiceren op het terrein van de sleuteltechnologie geavanceerde materialen. Daarnaast zijn het vooral grote gevestigde Nederlandse bedrijven zoals DSM, Shell, NXP, Philips, ASML, Unilever en Nutricia die Nederlandse vindingen citeren in patentaanvragen op het gebied van het sleuteltechnologiecluster advanced materials. Binnen ditzelfde technologiecluster wordt ook Wetsus (European centre of excellence for sustainable water technology; Leeuwarden) genoemd, waar op het gebied van materialen bijvoorbeeld onderzoek naar bioplastics wordt gedaan. Verder zijn er nog enkele jongere bedrijven in de top-5 lijst entiteiten die citeren naar Nederlandse materiaaltechnologie in patentaanvragen. Het gaat bijvoorbeeld om bedrijven die actief zijn op het gebied van nanomedicijnen (Cristal Therapeutics, begonnen als spin-off van de Universiteit Utrecht en nu gevestigd in Maastricht), biomedical materials (Unilever in Eindhoven) en organ-on-chip (Mimetas in Leiden).⁷

7 Informatie over citaties en patenten is afkomstig uit het rapport 'Kwantitatieve analyse sleuteltechnologieën' van Elsevier Research Intelligence van mei 2018.

3.2 KWANTUMTECHNOLOGIEËN

Kwantumtechnologie heeft de potentie een bijdrage te leveren aan het adresseren van maatschappelijke vraagstukken rond mobiliteit, energie, gezondheid en veiligheid. De rekenkracht van kwantumcomputers maakt het mogelijk zeer complexe moleculaire modellen (bijvoorbeeld eiwitten) op te lossen die klassiek jaren aan

rekenkracht vragen. De rekenkracht zal de komende jaren sterk vergroten waardoor toepassingen in de AI, optimalisatie en het breken van cryptografie ook mogelijk worden. Ook in veilige communicatie en monitoring (sensoren en metrologie) is er een belangrijke rol weggelegd voor kwantumtechnologie.

Wat zijn kwantumtechnologieën?

De basis van kwantumtechnologieën is kwantummechanica. Deze theorie gaat uit van het principe dat deeltjes op twee plekken tegelijk kunnen zijn. Een kwantum bit (eenheid van digitale informatie) kan tegelijk 0 en 1 zijn. Hierdoor kan een kwantumcomputer duizenden berekeningen parallel uitvoeren. Berekeningen die nu onbereikbaar zijn, liggen dan binnen de mogelijkheden.

Er wordt onderscheid gemaakt in een dedicated kwantumcomputer en een algemene kwantumcomputer. Een dedicated kwantumcomputer heeft een beperkt aantal kwantum bits (50-2000) en kan maar één specifiek optimalisatievraagstuk oplossen. Deze computer is al op de markt. Een algemene kwantumcomputer heeft miljoenen kwantum bits nodig om alle type vraagstukken aan te kunnen. Zo'n computer verschijnt pas over 20-30 jaar op de markt.

De kwantumtheorie is ook het principe achter kwantumcommunicatie, waardoor individuele foton deeltjes op verschillende plaatsen in het netwerk met elkaar verbonden kunnen worden en kwantum informatie kan worden verstuurd. Een van de toepassingen van kwantumcommunicatie is quantum key distribution. Deze technologie maakt het mogelijk om een cryptografische sleutel (in foton deeltjes) af te spreken, zodanig dat wanneer deze (ook in foton deeltjes) wordt onderschept, dan verandert de kwantum informatie automatisch waardoor het afluisteren wordt ontdekt. De communicatienetwerken worden hierdoor extreem veilig. Kwantumsensoren en metrologie gebruikt kwantumtheorie juist als raamwerk om meeteenheden te definiëren, waardoor vervolgens heel nauwkeurig gemeten kan worden.

Kwantum-technologieën

- Quantum computing
- Quantum communication
- Quantum sensors and metrology

Impact op innovatieopgaven

Omdat de kwantumcomputer zich nog in een vroeg stadium van ontwikkeling bevindt, hebben wij nog niet zicht op alle potentiële toepassingen. Voor de meeste vraagstukken voldoet echter een normale of supercomputer. Het principe van een kwantumcomputer sluit goed aan op twee soorten vraagstukken:

- Zoeken naar overeenkomsten tussen datasets
- Optimaliseren van modellen

Op dit moment wordt een dedicated quantum computer al gebruikt voor het selecteren van criteria voor algoritmes in zelfrijdende auto's. De mobiliteitssector kan als één van de eersten profiteren van deze ontwikkeling. Een aantal andere voorbeelden van potentiële toepassingen van de kwantum computer zijn het modelleren van

gewaseigenschappen, het simuleren van batterij-technologie, het optimaliseren van verkeersstromen en het ontdekken en personaliseren van medicijnen (bijvoorbeeld doorrekenen en vergelijken van de eigenschappen van 100 verschillende moleculen). De kwantumcomputer is waarschijnlijk voor verschillende maatschappelijke uitdagingen inzetbaar. Daar staat tegenover dat de kwantumcomputer ook een bedreiging vormt voor de digitale veiligheid, omdat dat de kwantumcomputer cryptografische sleutels kan breken. Om dit risico af te dekken is er onderzoek nodig naar cryptografie die kwantum veilig is, de zogenoemde post-quantum cryptografie.

De rol van kwantumcommunicatie ligt in het creëren van veilige communicatie maar heeft ook andere toepassingsmogelijkheden zoals verbe-

terde klok synchronisatie, verbeterde gps-systemen en het realiseren van nauwkeurigere telescopen. Daarnaast kan de combinatie van een kwantumcomputer en kwantumcommunicatie zorgen voor “Blind Quantum Computing in the cloud”: de data in de kwantumcomputer wordt dan middels veilige kwantumcommunicatie afgeschermd van toegang door de beheerder. Kwantumsensoren en metrologie worden daarnaast onder andere toegepast voor het meten van de groei van gewassen, navigatie met zwaartekrachtmeters (gravimeters) en als MRI voor moleculen.

Netwerken en actoren

In Nederland houdt QuTech, een instituut dat in 2014 is opgericht door de TU Delft en TNO en gevestigd is op de universiteitscampus in Delft, zich bezig met onderzoek op het gebied van kwantumtechnologie. In 2015 is een convenant gesloten tussen TU Delft en TNO met de ministeries EZK en OCW, NWO (domein Toegepaste en Technische Wetenschappen [TTW], AMOLF en de Topsector HTSM. Hiermee heeft QuTech een onderzoeksperspectief van 10 jaar gekregen. Voor dezelfde periode is tevens een sponsor-overeenkomst gesloten met Intel.

Binnen dit ‘shared development’ instituut wordt door de TU Delft en TNO samengewerkt met industriële partners op drie verschillende onderzoeks- en technologie roadmaps en één overkoepelende roadmap. Het gaat om: Fault-tolerant Quantum Computing, Quantum Internet and Networked Computing, Topological Quantum Computing en, overkoepelend, Quantum Software and Theory.

De belangrijkste bedrijven of instellingen in Nederland die in patentaanvragen verwijzen naar Nederlandse kwantumtechnologie zijn: FOM institute for Atomic and molecular Physics, Sabic, ASML en Element Six. De laatste actor is een multinationale onderneming met een vestiging in Nederland. Het bedrijf is actief op het gebied van supermaterialen voor de industrie, waaronder industriële (synthetische) diamanten.

3.3 FOTONICA

Fotonica, de technologie van het licht, is verweven met bijna alle maatschappelijke uitdagingen. Zo speelt fotonica een essentiële rol in de energie en klimaatvraagstukken door het opwekken van zonne-energie. Daarnaast zorgen optische sensoren en nieuwe lasertechnieken voor digitalisering in veel domeinen, met name in de gezondheidszorg, de landbouw en de maakindustrie.

Wat is fotonica?

“Fotonica is de technologie die zich richt op het opwekken, transporteren en detecteren van lichtgolven en lichtdeeltjes” (fotonen)⁸. Lichtbronnen kunnen verschillende typen licht en licht op verschillende golflengtes (kleuren) opwekken. Denk hierbij aan LEDs en lasers.

Vaak ligt de waarde van fotonica in de samenwerking met licht en elektronica. Zonnecellen (photovoltaics) zetten zonlicht om in elektriciteit en detectoren zetten lichtsignalen om in elektrische signalen. Lichtbronnen en detectoren zijn essentiële onderdelen van optische sensoren: de reflectie van licht op een materie wordt opgevangen door een detector en omgezet in een leesbaar elektrisch signaal. Doordat verschillende soorten materie op hun eigen manier licht weerkaatsen, bevat deze reflectie veel informatie. Beeldtechnologie gebruikt ditzelfde principe om licht om te zetten in een afbeelding.

Geïntegreerde fotonica is de technologie die verschillende fotonische functies (lichtbronnen en detectoren) integreert in een chip. Deze chip verwerkt lichtsignalen in plaats van de elektronische signalen die de reguliere chip verwerkt.

Optomechatronica combineert fotonica met elektronica en mechatronica. Dit redelijk volwassen veld ontwerpt bijvoorbeeld systemen voor de ruimtevaart en medische instrumenten.

Fotonica

- Photovoltaics
- Integrated photonics
- Imaging technologies
- Photonic detection
- Photon generation technologies
- Optomechanics (zie fabrication and engineering technologies)
- Sensors and actuators (idem)

Impact op innovatieopgaven

Fotonica heeft een brede impact op de innovatieopgaven. Optische sensoren, beeldtechnologie en optomechanica leveren een bijdrage aan slimme systemen: slimme fabrieken, predictive maintenance, precisielandbouw, zelfrijdende auto's en slimme infrastructuur zijn slechts enkele voorbeelden van toepassingen. Nieuwe lichtbronnen en lasertechnologieën zorgen voor nieuwe productiemethodes (3D printen, nauwkeurige productie van chips) en snellere en veiligere communicatie (bijvoorbeeld via glasvezels en free space optiek). Ook is fotondetectie een belangrijke technologie in bijvoorbeeld nachtzichtapparatuur voor militaire en civiele doeleinden.

Fotonica levert daarnaast een sterke bijdrage aan energie- en klimaatvraagstukken. Zonne-energie is met windenergie de meest voorkomende vorm van duurzame energie. Daarnaast leveren optische sensoren fysische en chemische informatie m.b.t. luchtkwaliteit (bijvoorbeeld fijnstof, benzeen) en wordt optiek in satellieten gebruikt voor het wereldwijd monitoren van klimaatverandering. Ook in de energiebesparing liggen er kansen: optische chips (geïntegreerde fotonica) verbruiken veel minder energie dan elektronische chips en hierdoor kan het energieverbruik van datacentra verminderd worden.

Ook in de gepersonaliseerde zorg speelt fotonica een belangrijke rol. Nieuwe laserbehandelingen zorgen voor minder ingrijpende operaties en optische sensoren (bijvoorbeeld met geïntegreerde fotonica) worden steeds kleiner, sneller en nauwkeuriger waardoor een arts of verpleegster eerder een diagnose kan stellen en ook preventieve screening tot de opties behoort. Daarnaast draagt nauwkeurige beeldtechnologie voor het afbeelden van cellen bij aan nieuwe medische ontdekkingen. In Nederland richt bijvoorbeeld het van 't Hoff initiatief zich op het ontwikkelen van medische toepassingen van licht – bijvoorbeeld het niet invasief meten van het bloedsuikergehalte.

Netwerken en actoren

In Juli 2018 is de Nationale Agenda Fotonica gepubliceerd. Dit initiatief, met het doel om de toepassing van fonicatechnologie en het creëren van nieuwe bedrijvigheid te intensiveren en te versnellen, bouwt voort op de Roadmap Photonics van de Topsector HTSM. De fieldlabs en samenwerkingsverbanden PhotonDelta, PhotonicsNL en Dutch Optics Centre, tezamen met het Ministerie EZK en NWO, zijn de opstellers van deze nationale agenda. Het merendeel van de naar schatting 290 fotonica bedrijven in Nederland is verbonden aan een van de regionale of nationale netwerken. Ook zijn de Nederlandse (technische) universiteiten en alle vijf de TO2-instituten actief over het gehele spectrum van fotonica én hebben daarbij boven-

dien een internationaal onderscheidende positie. In een achtjarig programma wordt met deze agenda richting gegeven aan investeringen in zes toepassingsgerichte clusters en twee basistechnologieclusters: Gezondheid, Maakindustrie, ICT, Semicon, Energie & Milieu en Agrifood.

Naast PhotonDelta, PhotonicsNL en Dutch Optics Centre zijn er nog andere concrete (publiek-private) samenwerkingsverbanden waarin fotonica een rol spelen: ARCNL, Holst Centre, Solliance, MESA+, IEEE Photonic Society Benelux, LaserLab en AMOLF. Ook zijn de meeste Nederlandse fotonica bedrijven of instellingen onderdeel van Europese samenwerkingsverbanden of netwerken, bijvoorbeeld via Photonics21 of EPIC.

De top-5 van bedrijven of instellingen in Nederland die in patentaanvragen verwijzen naar (Nederlandse) fonicatechnologie betreft de volgende namen: Philips, ASML, DSM en de academische ziekenhuizen van de UvA en VU.

3.4 DIGITALE TECHNOLOGIEËN

Digitalisering vormt een belangrijke megatrend die een sterke maatschappelijke en economische impact heeft. Digitalisering gaat over inzet van digitale technologieën om transformatie in een sector of waardeketen mogelijk te maken. Het gaat daarbij niet alleen om die technologie, maar ook om organisatieontwikkeling, businessmodellen en het vermogen om te veranderen als gevolg van digitale technologie. Voorbeelden zijn de opkomst van internet en social media en de digitalisering van producten, diensten, productieprocessen en waardeketens. Digitale technologieën zitten in de kern van bijna alle maatschappelijke uitdagingen. Computers worden steeds krachtiger en kunnen op steeds meer manieren met mensen meedenken en mensen ondersteunen en zaken uit handen nemen. Tegelijkertijd voedt dat de vrees dat mensen wellicht overbodig worden alsmede de angst voor besluiten die zonder tussenkomst van mensen genomen worden door algoritmen.

Wat zijn digitale technologieën?

Digitale technologie is de verzamelnaam voor alle technologie die informatie-gedreven is. De technologieën die hieronder beschreven staan gaan opeenvolgend over het analyseren, opslaan en beveiligen van informatie.

Bij data analytics gaat het om het analyseren van informatie (small en big). Big data is een verwijzing naar een dataset met een grote hoeveelheid en een hoge variëteit aan informatie, die ook nog een hoge omloopsnelheid heeft. Bij kunstmatige intelligentie gaat het analyseren verder dan bij data analytics: het model is zelflerend. Bij supervised machine learning is een model getraind op basis van een test data set en de labels die bij die data set horen. Bijvoorbeeld van elk individu de gezichtskenmerken en de naam, of bij elke set transactiegegevens een label fraude/geen fraude. Vervolgens is dit “getrainde” model zelfstandig in staat om nieuwe gegevens te classificeren (bijvoorbeeld gezichtsherkenning). Bij unsupervised machine learning maakt het algoritme zelf de categorisatie (geen bestaande labels). Bij deep learning selecteert het algoritme ook alle variabelen voor het model zelf.

Bij cloudtechnologie werkt de gebruiker met applicaties en bestanden die opgeslagen zijn op een externe computer. Berekeningen op deze bestanden kunnen ook in de cloud uitgevoerd worden. Cloudtechnologie speelt een steeds belangrijker rol in digitale infrastructuur (telecomnetwerken en data platforms). Bij onvoldoende rekenkracht voor hele complexe berekeningen biedt High Performance Computing een uitkomst. Simpel gezegd wordt de berekening opgesplitst over meerdere computers, zodat berekeningen in parallel uitgevoerd worden. Dit gaat veel sneller.

De technologie die ervoor zorgt dat versleuteld verzonden informatie niet wordt gekraakt, is encryptietechnologie. Blockchain bouwt voor op deze encryptietechnologie. Dit is vrij vertaald een keten van informatieblokken, of een digitaal logboek. Elke nieuwe transactie of toevoeging van informatie wordt in chronologische volgorde aan dit logboek toegevoegd en is traceerbaar. Elke toevoeging wordt automatisch door de hele keten gecontroleerd, waardoor vervalsing niet meer mogelijk is.

Digitale technologieën

- Artificial intelligence (incl. machine and deep learning)
- Big data and data analytics
- Encryption technologies/ digital security
- Block chain
- High Performance Computing, Grid Computing and Cloud Technologies/ Computing

Impact op innovatieopgaven

Geavanceerde systemen van verkeersmanagement, zelfrijdende auto's, slimme fabrieken, het voorspellen van defecten in machines en windmolens (predictive maintenance), precisielandbouw en een flexibel energiesysteem. Dit zijn allemaal slimme systemen die mogelijk gemaakt worden door de digitale technologieën.

Een flexibel energiesysteem waarin aanbod en vraag met elkaar in balans worden gebracht is bijvoorbeeld essentieel voor het slagen van de energietransitie. Duurzame energiebronnen zijn afhankelijk van omgevingsfactoren wat enorme pieken en dalen oplevert in het energieaanbod. Een slimme combinatie van smart grid (cloud technologie), ICT systemen, big data, computermodellen en regulering zorgen voor continue monitoring en real-time voorspellingen, waardoor een flexibel energiesysteem wordt gerealiseerd. En vergelijkbare combinatie wordt gebruikt in de mobiliteitssector. Zelfrijdende auto's herkennen rijbanen en obstakels op de weg door beeldherkenning op basis van machine en deep learning. Ook in de gebouwde omgeving spelen digitale

technologieën een belangrijke rol in veiligheid en energiebesparing. In het domein veiligheid worden digitale technologieën, bijvoorbeeld via serious gaming, daarnaast steeds meer gebruikt in training van militairen en hulpdiensten.

In de gezondheidszorg wordt kunstmatige intelligentie in combinatie met (big) data over de patiënt onder andere gebruikt voor het gepersonaliseerd toedienen van medicatie en voor nauwkeurigere laserbehandelingen met minder bijwerkingen als gevolg. Met high performance computing wordt de werking van medicijnen gesimuleerd. In het domein veiligheid worden digitale technologieën, bijvoorbeeld via serious gaming, daarnaast steeds meer gebruikt in training van militairen en hulpdiensten. Bestaande businessmodellen veranderen en er komen nieuwe data-gedreven businessmodellen bij. Blockchain opent bijvoorbeeld de deur voor nieuwe verdienmodellen en veiliger delen van informatie. Van geautomatiseerde certificaten voor voedsel en groene energie tot directe traceerbare overdracht van patiëntendossiers en flexibele energiecontracten.

Tot slot is encryptietechnologie essentieel voor de bescherming van persoonsgegevens, met name in de medische sector, en de vitale infrastructuur. Onder deze infrastructuur verstaan wij bijvoorbeeld het energienetwerk, betalingsverkeer, waternetwerk en het internet. Een ontwrichting van deze infrastructuur leidt tot belemmering van het goed functioneren van de maatschappij.

Netwerken en actoren

Dankzij onderzoeksactiviteiten op het Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI) is destijds in Amsterdam de basis voor het huidige Europese internet gelegd. Dit heeft ertoe geleid dat Nederlandse activiteiten op het gebied van computer- en datatechnologie nog altijd in relatief sterke mate geclusterd zijn op en rondom het Amsterdam Science Park. Zo is in Almere het Big Data Value Centre gevestigd; een open innovatieplatform waar geëxperimenteerd kan worden met data. Dit platform is geïnitieerd door de Economic Boards van Almere, Amsterdam en Utrecht, tezamen met TNO en SURFsara.

Digitale technologieën lopen als rode draad door de Smart Industry implementatieagenda 2018-2021. In veel van de 35 Smart Industry fieldlabs wordt dan ook in gezamenlijkheid door diverse bedrijven en instellingen gewerkt aan specifieke toepassingen van digitale technologie. Deze fieldlabs bevinden zijn verspreid door heel Nederland, met

enkele zwaartepunten in de concentraties van maakindustrie in Nederland (Zuid-Holland, Zuidoost Noord-Brabant, Oost-Nederland).

De Brightlands Smart Services campus in Heerlen is een concreet voorbeeld van een open innovatie instituut waar de verbinding tussen wetenschap, onderwijs en ontwikkeling van nieuwe bedrijfsactiviteiten op het gebied van digitale technologie wordt gelegd. Binnen de Nederlandse kennis- en opleidingsinfrastructuur is daarnaast met de Jheronimus Academy of Data Science (JADS) een samenwerkingsverband opgericht rondom Data Science opleidingen.

De top-5 van bedrijven of instellingen in Nederland die in patentaanvragen verwijzen naar Nederlandse digitale technologie betreft de volgende namen: Philips, NXP, ASML en Mapper (Delft).

3.5 NANOTECHNOLOGIE

De studie naar materie op zeer kleine schaal zorgt voor revolutionaire ontdekkingen in een zeer breed pallet van domeinen: van gezondheidszorg tot voeding en landbouw. Door nanotechnologie wordt de werking van het lichaam, de planten en materialen steeds beter begrepen. Hierdoor kan de mens eigenschappen van de natuur nabootsen en/of verbeteren. Deze technologie heeft met name een impact op de gezondheidszorg, de landbouw en de voedingsindustrie.

Wat is nanotechnologie?

Nanotechnologie is de technologie die werkt met deeltjes op de nano-schaal, dat wil zeggen op één-miljoenste millimeter. Nanomaterialen zijn materialen die één of meer externe dimensies bezitten met een bereik van 1 nm tot 100 nm. Vanwege deze kleine afmetingen heeft nanomateriaal een relatief hoog oppervlakte-tot-volume verhouding. Hierdoor heeft het materiaal eigenschappen die hetzelfde materiaal in een grotere afmeting niet heeft, bijvoorbeeld een magnetische of optische eigenschap. Een bekend nanomateriaal is grafeen.

Nanomanufacturing is het produceren op de nano-schaal, meest bekend van de chip. Het etsen van deze kanalen op de nano-schaal met behulp van lasertechnologie valt onder nanomanufacturing. De chip is gemaakt van het halfgeleider (semicon) materiaal silicone. Semiconductor apparaten zijn alle elektronische componenten die gebruik maken van halfgeleider materiaal, zoals chips en displays. Een semiconductor apparaat hoeft dus niet onder nanotechnologie te vallen.

Het veld micro- en nanofluidics gaat over het gedrag van vloeistoffen die door een smal kanaal stromen (micro of nano, maar meestal micro). De vloeistoffen worden vaak toegepast op een chip voor het maken van een sensor.

Een meer opkomende technologie is bionano. Deze stroming combineert biotechnologie met nanotechnologie. Het bestuderen en controleren van biomateriaal op de nanoschaal staat hierbij centraal. Het veld nanomedicijnen richt zich specifiek op de medische wereld. Ook vallen de nanodevices hieronder. Dit zijn zeer kleine gefabriceerde moleculaire machines, die bijvoorbeeld in de bloedbaan worden gebracht voor het afbeelden van cellen.

Nanotechnologie

- Nanoscale devices
- Micro- and nanofluidics
- Semiconductor devices
- Nanomanufacturing
- Nanomaterials
- Bionanotechnology
- Nanomedicine (zie life science technologieën)

Impact op innovatieopgaven

De impact van nanotechnologie is niet altijd direct te merken. Nanotechnologie wordt vaak toegepast in combinatie met andere technologieën, zoals fotonica, life science technologieën, chemie en kwantum. Kleine nauwkeurige sensoren combineren bijvoorbeeld semiconductor devices (chips) met microfluidics, nanomaterialen en microreactoren. De nanomaterialen zorgen voor sensoren die veel gevoeliger en specifiek zijn dan andere sensoren, wat nuttig is in het diagnosticeren van ziektes en identificeren van personen (bijvoorbeeld bij delicten). Daarnaast jagen chipfabrikanten de digitalisering van de maatschappij aan door chips steeds kleiner, sneller en energiezuiniger te maken. Elk jaar worden technieken voor het produceren van nanostructuren op deze chips verbeterd (of nieuw ontwikkeld), zodat deze trend doorgezet kan worden.

Naast het energiezuiniger maken van chips speelt nanotechnologie ook in andere opzichten een rol in de energietransitie. De eigenschappen van nanomaterialen worden benut voor het ontwikkelen van efficiëntere lithium-ion batterijen en zonnecellen. Daarnaast is het zuiveren van nanodeeltjes (bijvoorbeeld chemicaliën) uit grond of afvalwater een belangrijke processtap in het hergebruik van hulpbronnen (circulaire economie).

In de gezondheidszorg kunnen nanomaterialen de effectiviteit van bestraling van kankerpatiënten verhogen en dragen nanomedicijnen bij een betere behandeling van de patiënt. In de landbouwsector kan nanotechnologie de ontwikkeling van nieuwe gewassen bevorderen (zaadveredeling).

Netwerken en actoren

De roadmap nanotechnology binnen de Topsector HTSM is afgestemd op de nanotechnologie onderzoeksprogramma's van de samenwerkingsverbanden NanonextNL (PPS-onderzoeksconsortium waar meer dan 100 bedrijven, kennisinstellingen, medische centra en andere organisaties bij zijn aangesloten) en NanoLabNL ('open' research facility) en kennisinstellingen NWO-NANO en TNO. De nanotechnologie roadmap heeft overlap met andere prioritaire onderwerpen binnen de Topsector HTSM en met andere topsectoren en sleuteltechnologieën (met name op het gebied van Life Sciences & Health, Energy, Water, Chemistry, Agro&Food). Zodoende bestaan er ook cross-overs tussen sleuteltechnologieën in samenwerkingsverbanden. Voorbeelden zijn het DPI Polymer Research Platform of het Holst Centre, waar naast nanotechnologie (nano-microelectronics) ook onderzoeksactiviteiten rond aanpalende technologie en toepassingsgebieden plaatsvinden. Vanwege de diverse toepassingsgebieden van nanotechnologie bevinden Nederlandse bedrijven zich ook in verschillende bedrijfstakken, zoals de elektrotechnische

industrie, chemie, voedingsmiddelen, water, life sciences en energie. Hieronder vallen ook grote gevestigde partijen als ASML, NXP, AkzoNobel, Sabic en Philips.

Daarnaast zijn ook de volgende netwerken en samenwerkingsverbanden onderdeel van het nanotechnologielandschap in Nederland:

- MinacNED: een branchevereniging voor het microsystemen- en nanotechnologiecluster in Nederland die zich richt op het versterken van economische activiteit op dit terrein.
- BCSemicon: een national netwerk van semiconductorbedrijven van waaruit gezamenlijke innovatieprojecten worden geïnitieerd en gecoördineerd (bijvoorbeeld op basis van Interreg fondsen van de EU en 'shared equipment, services and facilities' worden georganiseerd).
- Advanced Research Center for Nano-Lithography: in 2014 opgericht als PPS tussen de UvA, VU NWO en ASML. Hier wordt fundamenteel onderzoek uitgevoerd op terreinen die relevant zijn voor ASML.
- CITC: een relatief recent samenwerkingsverband dat zich richt op het opzetten van een chipintegratie technologiecentrum in Nijmegen. Het doel is om hiermee een centrum te creëren voor innovatie in chipsintegratie (het combineren van verschillende functies, materialen en modules in één chip) en fotonica.

In de top van bedrijven of instellingen in Nederland die in patentaanvragen verwijzen naar Nederlandse nanotechnologie worden de volgende namen genoemd: Philips, ASML, NXP, ASM International en Mapper.

3.6 CHEMISCHE TECHNOLOGIEËN

Chemische technologieën spelen een essentiële rol in het verduurzamen van de economie (opgaven rond energie, klimaat, water en hulpbronnen). Enerzijds is de chemische industrie een grootverbruiker van energie en dus is onderzoek naar het efficiënter maken van chemische omzettingprocessen van belang. Anderzijds dragen chemische processen bij aan nieuwe energie-oplossingen en meer duurzame en recyclebare producten en hulpbronnen om een circulaire economie tot stand te brengen.

Wat zijn chemische technologieën?

Chemische technologieën houden zich bezig met het maken of breken van chemische bindingen om vanuit bestaande grondstoffen nieuwe producten te creëren. (Bio)Procestechnologie en proces intensificatie heeft als doel de efficiëntie van het (bio)chemisch productie proces te verhogen. Dit kan door te kijken naar andere (groene) grondstoffen, veranderingen in het chemisch proces zelf en naar nuttig gebruik van eventuele afvalstromen die ontstaan bij het productieproces.

Basisgrondstoffen worden vaak in enorme hoeveelheden geproduceerd in hoog efficiënte continue processen. Er zijn echter ook chemische toepassingen waarbij kleinere batch productie voordelig is. Denk hierbij aan sterk gespecialiseerde (persoonlijke) medicatie. De ontwikkeling van microreactoren of zelfs Labs-on-a-chip (zie life science technologies) maakt het mogelijk om dezelfde kwalitatief hoge productie op kleine schaal te bewerkstelligen.

Zuiverheid van grondstoffen is belangrijk in chemische processen. De opkomst van de circulaire economie en de bio-based economie zorgen voor een diversifiëring in grondstoffen, afkomstig van recycling of uit biologisch materiaal. Om gebruik te maken van deze biologische en gerecyclede grondstoffen, die veelal verwerkt zijn in andere, meer complexe producten, is het belangrijk om deze door scheidingstechnologie tot hoge zuiverheid te kunnen opwerken. Grondstoffen kunnen worden gescheiden tot hoge zuiverheid op basis van hun chemische of fysische eigenschappen. Geavanceerde analyse- en detectiemethoden zijn nodig om deze herwonnen grondstoffen vervolgens te testen op zuiverheid, materiaaleigenschappen en toxiciteit.

Een katalysator helpt bij omzetten van grondstoffen in andere producten, een goed voorbeeld is de katalysator in de uitlaat van een auto. Een katalysator werkt door de benodigde hoeveelheid energie voor een specifieke reactie te verminderen, of door de omzetting naar een specifiek eindproduct te bevorderen. Hierdoor gaat de energiebehoefte naar beneden en de efficiëntie van het chemisch proces omhoog. Katalyse is dan een belangrijke stap in bijna alle grootschalige chemische productieprocessen.

In elektrochemische processen wordt elektrische energie gebruikt om chemische verbindingen te maken of breken en vanuit grondstoffen het reactieproces te sturen naar specifieke eindproducten. Een belangrijke toepassingen hiervan is het opslag van tijdelijke overschotten van elektrische energie uit duurzame bronnen naar chemische energie (de productie van waterstof). In tijden van energie schaarste kan deze voorraad dan worden opgebruikt door bijvoorbeeld waterstof weer om te zetten in elektrische energie. Ook de omzetting van CO₂ naar hoogwaardiger grondstoffen kan middels elektrochemische processen.

Chemische technologieën

- (Bio)Proces-technologie, including process intensification
- Microreactors
- Separation technology
- Catalysis
- Analytic technologies
- Electrification / Hydrogen technology / power to gas

Impact op innovatieopgaven

Chemische technologie is onmisbaar voor het oplossen van energievraagstukken. Energie die opgewekt wordt uit duurzame bronnen zoals zon, wind en water is afhankelijk van natuurlijke omstandigheden, die niet altijd compatibel zijn met energiebehoefte. De chemische industrie kan helpen door omzetting van beschikbare elektrische energie in energiedragende producten, zoals waterstof. Op momenten van hoge energievraag kunnen deze dan weer omgezet worden in energie.

Tegelijkertijd biedt de beschikbaarheid van grote hoeveelheden schone elektriciteit ook weer kansen om bestaande chemische processen in verregaande mate te elektrificeren, denk hierbij aan elektrochemische processen om het broeikasgas CO₂ om te zetten naar hoogwaardige grondstoffen,

In 2016 was 33% van de totale energiebehoefte van Nederland voor rekening van de chemische, farmaceutische en aardolie industrie.

Door procesintensificatie kan het energiegebruik en CO₂ uitstoot in de chemische productie worden teruggedrongen. Ook optimalisatie van katalysatoren kan deze processen meer energie-efficiënt maken. Tot slot kunnen productieprocessen meer geïntegreerd worden, waarbij een bij- of afvalproduct van het ene proces als grondstof voor een ander kan dienen.

Om de chemische industrie te integreren in de circulaire economie, is het van belang dat grondstoffen herwonnen kunnen worden door middel van recycling. Door recycling van bijvoorbeeld plastics kan het gebruik van (fossiele) grondstoffen worden teruggedrongen, wat bijdraagt aan het halen van de klimaatdoelstellingen. Daarnaast is met de komst van nieuwe grondstoffen zoals biomassa en andere gerecyclede grondstoffen een vraag ontstaan voor meer geavanceerde scheidings- en analysetechnieken en de ontwikkeling van de juiste katalysatoren om deze nieuwe grondstoffen efficiënt om te zetten in de gewenste eindproducten.

Andere toepassingen dragen bij aan een verbeterd inzicht in de impact van onze levensstijl op de omgeving (bijvoorbeeld detectie van chemische verbindingen in de lucht, (oppervlakte)water en de grond) of aan de voedselveiligheid (detectie mogelijke ziekteverwekkers of andere schadelijke stoffen).

Netwerken en actoren

Chemie is een relatief grote bedrijfstak binnen de Nederlandse industrie, met zowel grote (gevestigde) bedrijven als innovatieve start-ups die actief zijn op een verscheidenheid aan chemiedomeinen (waaronder ook de farmaceutische industrie en het petrochemische complex). Bedrijven in de chemische industrie zijn dan ook georganiseerd in een groot en divers aantal brancheverenigingen zoals NRK en Plastics Europe.

Vanuit de Topsector Chemie wordt richting gegeven aan het ontwikkelen van oplossingen voor maatschappelijke uitdagingen op het gebied van gezondheid, voeding, energie, transport, klimaat en grondstoffen. Hierbij wordt intensief samengewerkt met Nederlandse universiteiten en kennisinstellingen en regionale partners en domeingerichte innovatielabs of open innovatiecentra zoals TI Coast voor analytische chemie.

Daartoe bestaan er ongeveer 20 (publiek-private) samenwerkingsverbanden⁹ op diverse domeinen, zoals Elektrificatie van de chemische industrie (bijvoorbeeld Voltachem), biobased materialen, Bio energie, watertechnology, materialen (o.a. DPI Polymer Research Platform, Brightlands materials Centre, Brightlands Chemelot campus, Materials

innovation institute), procestechology, nanotechnologie, bio-medisch en farmaceutisch onderzoek. Er bestaan daarmee veel dwarsverbanden en cross-overs met andere sleuteltechnologieën – enkele samenwerkingsverbanden en netwerken maken dan ook onderdeel uit van het landschap zoals beschreven onder andere clusters van sleuteltechnologieën.

In de top van bedrijven of instellingen in Nederland die in patentaanvragen verwijzen naar Nederlandse chemische technologie worden de volgende namen genoemd: DSM, LUMc, Wetsus, Janssen Pharmaceutical Companies (voormalig Crucell), Shell, Philips, Nederlands kanker Instituut, AkzoNobel en CE-Mate (lab on a chip).

3.7 LIFE SCIENCE TECHNOLOGIEËN

Life science technologieën worden ingezet in de gezondheidszorg maar ook in landbouw en industrie. Ze spelen een centrale rol in het begrijpen van ziekten en in snellere en betere diagnose en behandeling. Dat vormt de basis voor gepersonaliseerde zorg waardoor mensen langer en gezonder kunnen leven. In landbouw en industrie worden life science technologieën onder meer gebruikt in gewasverbetering en de productie van hoogwaardige grondstoffen en materialen.

Impact op innovatieopgaven

Life science technologies dragen bij aan de thema's gezondheid en zorg, landbouw, water en voedsel en veiligheid. Zo zijn biochips en biosensoren voorbeelden van technologieën die breed wordt ingezet voor deze uitdagingen, bijvoorbeeld voor snelle diagnose en het identificeren van bijvoorbeeld toxische stoffen in de lucht of het water.

De belangrijkste bijdrage van genomics en gerelateerde technologieën is dat ze de mogelijkheden van gepersonaliseerde zorg veel dichter bijbrengen, zowel door betere voorspelling (predictive health), meer persoonlijke preventie, beter management van chronische ziekten, en door medicijnen en therapie op maat. Ook functionele en gepersonaliseerde voedingsmiddelen die bijdragen aan gezondheid zijn het resultaat van biochemische kennis over voedingsmiddelen en kennis van de menselijke fysiologie.

Meer mensen die in goede gezondheid steeds ouder worden vormen een belangrijke basis voor een veerkrachtige samenleving. Hiervoor is het van groot belang dat zogenoemde 'translationale predictive modellen' worden ontwikkeld die in een relatief kort tijdsbestek complexe menselijke ziekten nabootsen. Deze modellen en functionele biomarkers zullen in sterke mate bijdragen aan de ontwikkeling van effectieve therapieën omdat

9 www.topsectorchemie.nl/onderzoek-en-innovatie/samenwerkingsverbanden

Wat zijn life science technologies?

Life sciences richten zich op de bestudering van organismen en onderdelen daarvan (weefsels, cellen, DNA). Een belangrijke life science technologie voor Nederland is de industriële biotechnologie die zich richt op de biochemische of biotechnologische productie van producten als aminozuren, antibiotica, biochemische bouwstenen, biobrandstoffen, bioplastics, enzymen en vitamines. Biocatalyse is onderdeel van de industriële biotech en zet levende organismen (meestal enzymen) in om chemische processen beter en sneller te laten verlopen. Daarbij worden ook genetisch gemodificeerde organismen gebruikt. Biofabricatie gaat over het maken van industriële producten op basis van biomaterialen en processen.

Nanomedicine gebruikt nanotechnologie – en met name het gegeven dat op nano-schaal deeltjes specifieke eigenschappen vertonen – niet alleen om medicijnen te maken en om deze op de juiste plaats te krijgen (drug delivery) maar speelt ook een rol in biosensoren en in de toekomstige ontwikkeling van nanomachines met medische toepassing.

Genomics betreft de analyse van genomen, oftewel het geheel van genen dat een organisme vormt. Het gaat hierbij vooral om de functies van en interacties tussen genen. Het aflezen van de genen in een organisme (sequencing) is een proces dat steeds sneller en goedkoper gaat, wat de basis is voor een groot aantal toepassingen zoals bijvoorbeeld moleculaire plantenveredelingen, erfelijkheidsonderzoek. Naast het bestuderen van genen wordt er ook in toenemende mate gekeken naar het complex van eiwitten (proteomics) en metabolen (metabolomics). X-omics is de noemer waaronder de verschillende -omics discipline worden gevangen. De kennis die X-omics oplevert vormt de basis voor het modificeren van genen. Inmiddels is het mogelijk met hoge precisie genen te vervangen: gene editing / precise genetic engineering.

Stamceltechnologie maakt gebruik van de eigenschap van cellen om zich te ontwikkelen tot verschillende typen andere cellen. Synthetische cellen zijn kunstmatig gemaakte cellen die opgebouwd worden vanuit de verschillende onderdelen van een cel. Enerzijds is deze technologie gericht op het fundamenteel begrijpen van hoe verschillende processen in cellen werken, anderzijds op het produceren van bruikbare stoffen.

Biochips, lab-on a chip en biosensoren zijn miniatuurlaboratoria die op een enkele chip één of meerdere laboratoriumanalyses mogelijk maken. Organ-on-a-chip technologie combineert inzichten uit verschillende gebieden (materialen, stamcellen, microfluidics en micro-engineering) om het functioneren van levende menselijke cellen en weefsel na te bootsen op een chip. Hierdoor kan bijvoorbeeld de werking van medicijnen veel beter begrepen worden.

Belangrijk is dat een aantal genoemde technologieën (genomics, biosensoren en chips, maar ook biochemie) de basis vormen voor het fundamenteel begrijpen van ziektes en voor translationele modellen die deze kennis vertalen in nieuwe interventies en therapieën. Combinaties van lifestyle interventies en medicatie die elkaar versterken bieden daarbij veel perspectief.

Life science technologies

- Industrial biotechnology (white)
- Gene editing/precise genetic engineering
- Organ on a chip
- Nanomedicine
- Stem cell technology
- Synthetic cell technology
- Biochips and biosensors
- Biocatalysis
- Genomics/proteomics/metabolomics/glycomics/X-omics)
- Biofabrication

ziekten zoals diabetes en Alzheimer) pas na jaren ontstaan en zonder translationele modelsystemen niet bestudeerd kunnen worden. Zeer gevoelige analytische (non-invasieve) technologieën en ook DNA sequencing technologie zijn onmisbaar geworden voor de detectie van schadelijke stoffen maar ook voor het oplossen van misdrijven. Deze technologieën spelen derhalve een prominente rol in het bevorderen van een veilige (arbeids) omgeving en samenleving.

Netwerken en actoren

Het Nederlandse landschap rondom life science technologie bevat diverse bedrijfsactiviteiten, variërend van farmaceutische- en (bio)medische technologie, nanomedicijnen, voedingsmiddelen en daaronder ook landbouwtechnologie (zoals zaadverdeling en andere kennisdomeinen waarop bijvoorbeeld de Wageningen Universiteit zich richt) tot de zorg en welzijnsinfrastructuur. Daarmee bestaan er ook raakvlakken en samenwerkingsverbanden met partijen en netwerken die actief zijn op het terrein van andere clusters van sleuteltechnologieën (bijvoorbeeld nanotechnologie en chemische technologie).

Vanuit de Topsector Life Sciences & Health wordt richting gegeven aan de ontwikkeling van oplossingen voor maatschappelijke uitdagingen op het gebied van gezondheid. Health Valley is een innovatienetwerk waarin bedrijven, zorginstellingen, kennisinstellen en overheid hun krachten bundelen om innovatie in de zorg te stimuleren. Ook wordt er vanuit Health Valley aangesloten bij initiatieven en projecten verspreid door het land, waaronder bijvoorbeeld ecosystemen rondom start-ups (StartupDelta, TekDelta en Yes!Delft). Op landelijk niveau is daarnaast HollandBio, de belangenvereniging van life science bedrijven in Nederland, actief om vernieuwing, innovatie en implementatie van life science technologie te ondersteunen:

Op thematische onderwerpen bestaan er regionale samenwerkingsverbanden zoals Foodvalley (Wageningen en omringende gemeenten), AgriFood Capital Noord-Brabant en Greenport Venlo. Hierin speelt met name biotechnologie een rol. In toenemende mate wordt vanuit dergelijke regionale of lokale initiatieven de link gelegd op het gebied van kennisuitwisseling, innovatie en (hightech) voedselproductie. Op het gebied van medische life sciences is er bijvoorbeeld sprake van een sterke clustering van activiteit op en rondom het Bio Science park Leiden. Hier zijn ongeveer 106 bedrijven gevestigd die samen met onderzoeksinstellingen, de universiteit en het academisch medisch centrum werken aan de ontwikkeling en implementatie van life science technologie.

In de top van bedrijven of instellingen in Nederland die in patentaanvragen verwijzen naar Nederlandse life science technologie worden de volgende namen genoemd: DSM, LUMC, Amc, VUmc, Crucell (vaccins), Philips (medical technologies), Nederlands Kanker Instituut en AIMM Therapeutics (antistoffen tegen kankercellen en infectieziekten).

3.8 ENGINEERING & FABRICATION TECHNOLOGIEËN

Het laatste cluster is een verzameling van alle technologieën gebruikt voor productie en design. Ook hier is de impact op maatschappelijke uitdagingen breed, niet alleen omdat de deze technologieën sterk verbonden zijn aan ICT, maar ook vanwege de brede toepassing in sectoren als industrie, bouw, infrastructuur en maritiem / offshore.

Netwerken en actoren

Vanuit de Topsector HTSM wordt via roadmaps op diverse technologiedomeinen in belangrijke mate richting gegeven aan innovatie, technologieontwikkeling en samenwerkingsverbanden daarbij. In de industrie speelt de Smart Industry implementatieagenda een belangrijke rol. In deze agenda worden vrijwel alle onderliggende sleuteltechnologieën binnen het cluster 'engineering & fabrication technologieën' geadresseerd. De Smart Industry implementatieagenda leidt verspreid door Nederland tot concrete cross-sectorale samenwerkingsprojecten en fieldlabs¹⁰ waarin gericht wordt gewerkt aan technologieontwikkeling en implementatie ten behoeve van oplossingen voor maatschappelijke thema's. In lijn met de landelijke Smart Industry agenda worden ook regionale programma's nader uitgewerkt door de relevante lokale bedrijven en instellingen op de verschillende technologiegebieden. Ook in de Topsectoren Chemie, Agri-food en Water speelt engineering en fabrication een belangrijke rol. In de sector bouw en infrastructuur spelen naast bouwbedrijven, off-shore bedrijven, installatiebranche en kasconstructiebedrijven een rol.

In de top van bedrijven of instellingen in Nederland die in patentaanvragen verwijzen naar Nederlands) engineering & fabrication technologieën worden de volgende namen genoemd: TNO, Philips, NXP, LUMC, Amc, ASMLen AkkoLens International BV (optica t.b.v. herstellen van menselijk zicht).

Impact op innovatieopgaven

Deze groep technologieën omvat de hardware die nodig is voor digitalisering van productie en logistieke processen. Hoewel de maakindustrie door deze technologieontwikkelingen een transitie doormaakt, beperkt de impact zich net als bij de digitale technologieën niet tot de productie-infrastructuur en -systemen. Optomechatronica,

¹⁰ Zie <https://www.smartindustry.nl/fieldlabs/>

Wat zijn engineering & fabrication technologieën?

Productiemachines worden steeds vaker uitgerust met microprocessoren, sensoren, robotarmen, etc. Sensoren meten bepaalde grootheden, zoals druk, temperatuur of chemie. Een sensor is bijvoorbeeld optisch of elektrochemisch. Bij een optische sensor wordt een lichtstraal uitgezonden en elke onderbreking of reflectie wordt verwerkt in een signaal. Bij een elektrochemische sensor vindt een chemische reactie plaats op een chip, die wordt omgezet in een elektrisch signaal. Een actuator is het tegenovergestelde van een sensor en stuurt juist bewegingen aan.

In robotica komen elementen van (opto)mechatronica, elektronica, computersystemen en sensoren samen in machines die menselijke acties kunnen overnemen. Embedded systems zijn systemen waarbij elektronica (hardware en software) is geïntegreerd in een apparaat, machine of gebruiksvoorwerp. De term Cyberphysical systems (CPS) wordt gebruikt voor de interactie van alle informatie processen en fysieke processen, bijvoorbeeld in het Internet-der-dingen. De communicatie in CPS loopt via het internet. High frequency & mixed signal technologieën zorgen voor communicatie op basis van een mix van technologieën: radio, radar, 4G/5G, wifi, GPS.

Een belangrijke productietrend is 3D printen: een product wordt laag voor laag uit materiaal opgebouwd, vaak met behulp van een robotarm. De term additive manufacturing wordt gebruikt voor industriële toepassingen, bijvoorbeeld voor het snel printen van complexe mechanische onderdelen.

Engineering technologie en sensoren spelen ook een grote rol in predictive maintenance en self maintenance in de industrie (machines), infrastructuur (bruggen, dijken) en in de gebouwde omgeving onder meer door het ontwikkelen van digital twins.

Engineering & fabrication technologieën

- Sensors and actuators
- Imaging technologies
- (Opto)mechatronics
- Additive manufacturing / 3D printing
- Robotics
- Cyberphysical/ embedded systems
- High frequency & mixed signal technologies

internet, sensoren en beeldtechnologie zitten verweven in opgaven rond gepersonaliseerde zorg, slimme mobiliteit en precisie landbouw. Ook het 3D printen van organen en medische robots (bijvoorbeeld voor operaties) zorgen voor grote veranderingen in de gezondheidszorg met positieve impact op gezondheid en welzijn. Robotica, mens-machine interactie en HFMS technologie (onder andere radartoepassingen) spelen daarnaast een grote rol in het snel en effectief opereren van civiele en militaire eenheden. Engineering technologieën spelen tenslotte een voorname rol in de veiligheid van gebouwen en kritische infrastructuur, in energiebesparing in de gebouwde omgeving en in het hergebruik van materialen.

3.9 DISCUSSIE

De sleuteltechnologieën kunnen doelgericht ingezet worden voor het oplossen van een aantal maatschappelijke uitdagingen. Enerzijds spelen sleuteltechnologieën een rol in meerdere maatschappelijke uitdagingen. Anderzijds vragen deze meestal om de inzet van meerdere technologieën. Daarnaast zijn vaak nieuwe businessmodellen en organisatorische en sociale innovaties nodig – onderwerpen die buiten de scope van dit rapport vallen. Toepassingen van deze technologieën

maken de energietransitie mogelijk, stimuleren hergebruik in een circulaire economie, openen nieuwe manieren van preventie, management en behandelen van ziekten, bieden nieuwe systemen voor een veilige digitale en fysieke samenleving, en maken gewassen en precisie landbouw efficiënter voor een groeiende bevolking.

Hierbij is het cruciaal om verder te kijken dan de huidige toepassingen van één technologie. Nieuwe toepassingen ontstaan juist in de cross-overs tussen technologieën en bedrijfstakken. Zoals robots die voor het uitvoeren van acties afhankelijk zijn van sensoren, actuatoren, beeldtechnologie en algoritmes en die in steeds meer sectoren worden ingezet. Biochips van op nano-schaal gefabriceerde semiconductor chips met een combinatie van geavanceerde materialen, chemische en life science technologieën voor metingen zowel in de gezondheidszorg als in het milieu. In het volgende hoofdstuk worden zes voorbeelden uitgewerkt, waarin de koppeling wordt gemaakt tussen meerdere technologieën en de maatschappelijke uitdagingen.



4 STAPSGEWIJZE KOPPELING VAN TECHNOLOGIEËN AAN MAATSCHAPPELIJKE UITDAGINGEN IN EEN AANTAL CASES

De koppeling tussen sleuteltechnologieën en maatschappelijke uitdagingen ontstaat niet vanzelf. In figuur 2 staan de stappen uitgelegd die lopen van technologie (fundamentele technologie-ontwikkeling) tot technologie-toepassingen, innovatieopgaven en vervolgens de maatschappelijke uitdaging. Oplossingen voor maatschappelijke uitdagingen komen tot stand in een samenspel van kennisinstellingen, overheden bedrijven en maatschappij. In dit hoofdstuk laten wij zes voorbeelden zien van hoe de technologieën kunnen interacteren om een deel van een maatschappelijke uitdaging op te lossen. Voor elke maatschappelijke uitdaging uit de Kamerbrief Naar Missiegedreven Innovatiebeleid met Impact komt er één of twee voorbeelden aan bod:

Maatschappelijke uitdaging	Case
Energietransitie en duurzaamheid	Wind op Zee en Electrochemische conversie
Landbouw, water en voedsel	Hoogwaardige uitgangsmaterialen
Gezondheid en zorg	Point-of-care (lab-on-a-chip)
Veiligheid	Digitale veiligheid
Extra: mobiliteit	Connected en coöperatieve automatische mobiliteit

4.1 WIND OP ZEE

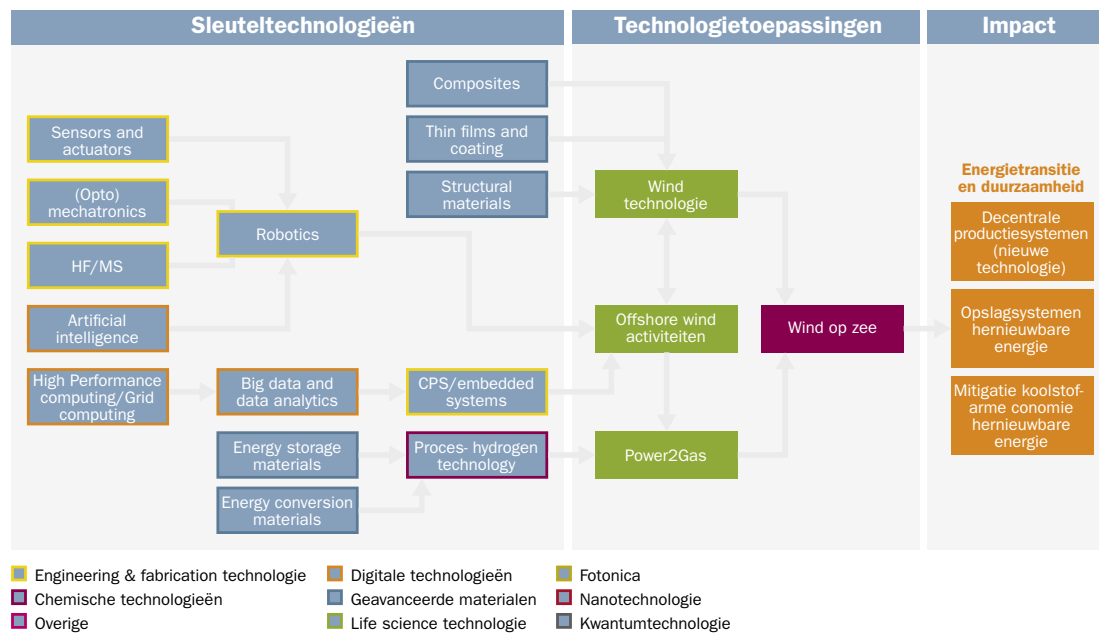
Op zee opgewekte windenergie draagt bij aan de opgave om de uitstoot van CO₂ drastisch te verminderen. Hiermee is wind op zee rechtstreeks gekoppeld aan de innovatieopgave Mitigatie: koolstofarme economie - CO₂-opslag, hernieuwbare energie en gebruik restwarmte industrie' binnen de Vernieuwingsopgave 'Smart Climate Solutions'. Daarnaast is wind op zee gerelateerd aan de Innovatieopgave Nieuwe technologie voor decentrale productiesystemen binnen de Vernieuwingsopgave 'Smart Energy'. Tevens beogen partijen die betrokken zijn bij de exploitatie van windmolenparken op zee flexibiliteit en risicospreiding in hun business case in te bouwen

middels energieconversie en -opslag (de productie en levering van waterstof), voordat de elektriciteit aan het algemene, aanlandige grid wordt geleverd. Daarmee is er ook een relatie tussen wind op zee en de Innovatieopgave Opslagssystemen voor hernieuwbare energie.

Om grote stappen te maken richting de doelen zoals geformuleerd in het Klimaatakkoord van Parijs, het Regeerakkoord Rutte III, en de transitiepaden richting 2050, dient de geïnstalleerde capaciteit van windmolens op zee verder uitgebreid te worden. Daarbij is het, op weg naar subsidievrije winmolenparken op zee, van belang om kostenreducties te realiseren in vrijwel alle schakels van de wind-op-zee waardeketen (o.a. door het vergroten van capaciteit en levensduur van windtechnologie en componenten, maar ook door de ontwikkeling en implementatie van materialen met een lange levensduur en efficiënte onderhoudstechnieken). Wanneer windmolenparken op zee eenmaal operationeel zijn, is het ook van belang om energie efficiënt te transporteren naar het vaste land en daar te integreren met het grid. Partijen beogen daarbij niet alleen elektriciteit, maar ook waterstof als handelsgoed vanaf zee te transporteren naar het vaste land.

Technologie-toepassingen

De wind-op-zee-sector in Nederland kan voortbouwen op een van oorsprong sterke positie van bedrijven in de maritieme- en offshore industrie. Enerzijds raakt deze expertise aan de ontwikkeling van windtechnologie (turbines, bladen, torens, funderingen, kabels, alsook – goed beschouwd in een bredere waardeketen rondom sec windtechnologie – de bouw van gespecialiseerde schepen, hefinstallaties en andere 'engineering' hardware). Anderzijds is de kennis en kunde van Nederlandse ingenieursbureaus e.d. van groot belang voor de uitvoering van offshore windactiviteiten (ontwerp, bouw, installatie, operatie, beheer en onderhoud van windmolens en windmolenparken op zee). Technologieën worden ontwikkeld en toegepast in beide lijnen binnen de wind-op-zee-sector: zowel in activiteiten met betrekking tot windtechnologie als de offshore wind activiteiten. Wel zal er in veel gevallen sprake zijn van volgtijdelijkheid van

Figuur 4 - Stroomdiagram Wind op zee

Bron: TNO

ontwikkeling van technologie in het deelgebied windtechnologie (inclusief activiteiten in industrietakken die zich goedbeschouwd rondom de waardeketen van de wind-op-zee-sector bevinden, zoals scheepsbouw) en vervolgens toepassing tijdens de aanleg en installatie van windmolens op zee en tenslotte het onderhoud en beheer van windmolenparken.

Voor de opslag en conversie van windenergie (o.a. door de productie van waterstof op zee) door exploitanten van offshore windmolenparken is Power2Gas een derde belangrijke technologietoepassing. Exploitanten beogen energieconversie en -opslag op zee te realiseren om flexibel met prijschommelingen om te gaan. Voor exploitanten van windmolenparken op zee vloeien de baten voort uit de verkoop van elektriciteit op de markt. Schommelende prijzen vormen, naast schommelingen in het energieaanbod zelf, hierbij een risico voor hun business case. De verwachting is dat er naast een markt voor elektriciteit ook een markt voor waterstof zal ontstaan. Exploitanten wensen daarom flexibel op prijsontwikkelingen op beide markten in te kunnen springen door te kiezen op welk moment welk product, waterstof of elektriciteit, wordt geleverd vanaf hun eigen netwerk op zee naar het algemene (aanlandige) grid.

Sleuteltechnologieën

Vier clusters van sleuteltechnologieën zijn van belang voor wind op zee: Engineering technologies, Advanced materials, Digital technologies en Chemical technologies. Zowel Engineering

technologies als Advanced materials zijn enerzijds van belang om kostenreductie te realiseren via het mechanisme van een verhoogde capaciteit en langere levensduur van mechanieken en componenten en anderzijds via het mechanisme van efficiëntere installatie- en onderhoudsmethoden. Robotisering in combinatie met predictive, preventive en corrective maintenance (o.a. op basis van sensoren, artificial intelligence en mechatronica) is daarom een belangrijke 'flow' waarop sleuteltechnologieën op elkaar ingrijpen richting offshore wind activiteiten.

Voor zover Nederland betrokken is bij de productie van windtechnologie (turbines, bladen, torens en funderingen), zijn geavanceerde materialen zoals composieten, coatings en structural materials rechtstreeks van belang. Dit betreft directe flows van de afzonderlijke materialen aan windtechnologie, niet noodzakelijkerwijs met een volgtijdelijkheidsrelatie.

Tenslotte houdt een derde 'flow' van sleuteltechnologieën verband met de belangrijke opgave van systeemintegratie, waarin op zee opgewekte windenergie gekoppeld dient te worden met het onshore grid en tijdelijke opslag benodigd kan zijn. Hierbij is in de context van flexibilisering en strategische prijsoptimalisatie van exploitanten dus ook de productie van waterstof op zee van belang. Tevens is het opportuun om maximaal gebruik te maken van bestaande fysieke infrastructuur op zee; de 'erfenis' van olie- en gasplatformen, welke op termijn ontmanteld zullen

worden en zolang deze nog in bedrijf zijn wellicht geëlektrificeerd kunnen worden. Slimme koppeling en (digitale) optimalisatie is daaraan ondersteunend.

4.2 HOOGWAARDIGE UITGANGSMATERIALEN

De Nederlandse sector zaadveredeling is onderdeel van de topsector Tuinbouw en Ausgangsmaterialen. Hoogwaardige zaden en plantmateriaal leveren een essentiële bijdrage aan een duurzame wereldvoedselvoorziening. Ze maken hoge opbrengsten per ha mogelijk (vaak in moeilijke productieomstandigheden), waarbij de uitdaging is productiesystemen te ontwikkelen die zowel hoogproductief, veerkrachtig als duurzaam zijn. Omdat te realiseren wordt gewerkt aan een veel sterkere integratie van plantenveredeling en gewasmanagement.

Technologietoepassingen

Technologieën worden toegepast in twee lijnen: enerzijds de zaadveredeling en daarnaast zaadvermeerdering. Bij het laatste gaat het om het op commerciële schaal produceren van hoogwaardige zaden en planten uit de lijn plantenveredeling. In beide lijnen heeft de Nederlandse sector een wereldwijd leidende positie.

Sleuteltechnologieën

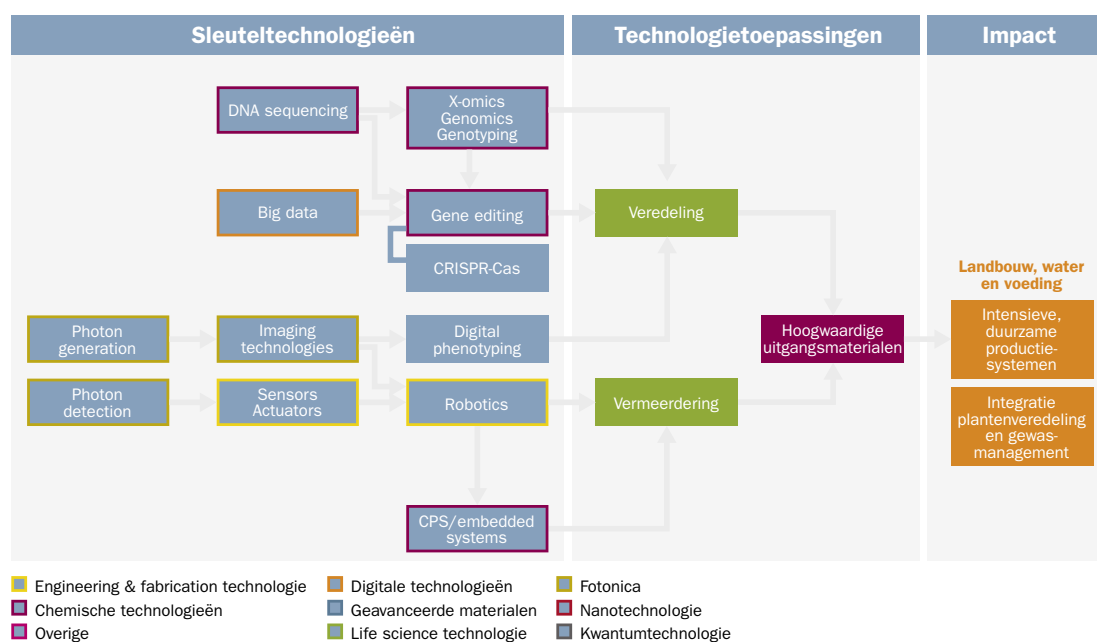
Plantenveredeling bouwt vooral op twee groepen technologieën: life sciences en digitale technologie en daarnaast op fotonica. Bij de life sciences

spelen een aantal bestaande en nieuwe technologieën een hoofdrol: geavanceerde DNA sequencing maakt het mogelijk steeds sneller het genoom van planten in kaart te brengen. Steeds meer wordt daarbij ook gekeken naar eiwitten (proteomics) en metabolen (metabolomics). Naast genetische technologie speelt digitale technologie een steeds belangrijker rol in de plantenveredeling (bioinformatica). Genetische analyse produceert grote hoeveelheden gegevens die met behulp van big data en gerelateerde technieken toegankelijk en inzichtelijk worden gemaakt. Nieuwe precisietechnieken in gene-editing (CRISPR-Cas) maken het mogelijk op zeer precieze wijze veranderingen aan te brengen.

Maar uiteindelijk gaat het bij plantenveredeling niet (alleen) om genen, het gaat om gewassen met goede uiterlijke kenmerken. Dan hebben wij het over het fenotype van een gewas. Traditioneel speelde het ervaren kwekersoog de hoofdrol bij het bepalen of een plant over gewenste eigenschappen beschikt. Steeds meer wordt dat kwekersoog ondersteund door digitale technieken. Digital phenotyping maakt gebruik van databases met karakteristieken en van beeldtechnologie om weefsels te karakteriseren.

Ook in de tweede lijn van zaadvermeerdering spelen sleuteltechnologieën een belangrijke rol. Het gaat hierbij om techniek die ook gebruikt wordt in commerciële tuinbouw en waar Nederland heel

Figuur 5 - Stroomdiagram hoogwaardige Ausgangsmaterialen



goed in is. Denk aan geavanceerde LED verlichting en de toepassing van robots. Sensoren en actuatoren spelen een hoofdrol.

4.3 POINT-OF-CARE (LAB-ON-A-CHIP)

Eén van de belangrijkste uitdaging in de gezondheidszorg is de ontwikkeling van gepersonaliseerde zorg waar de individuele patiënt centraal staat. De zorg wordt afgestemd op de eigenschappen, wensen en behoeftes van de patiënt. Met point-of-care diagnostiek, oftewel diagnostiek naast of vlakbij de patiënt, wordt de diagnostiek dichterbij de patiënt gebracht.

De meest veelbelovende nieuwe technologie voor point-of-care toepassingen is Lab-on-a-Chip (LoC). Een LoC verkleint en integreert verschillende modules uit het laboratoriumonderzoek op één chip¹¹ In een handzaam en vaak draagbaar medisch-diagnostisch apparaat dat de patiënt snel uitslag geeft. Ook kan er meer zorg naar de eerste lijn worden verplaatst (bijvoorbeeld naar de huisarts of wijkverpleegkundige) of zelfs naar de patiënt thuis.

Naast toepassingen in de medische sector heeft LoC ook toepassingen in defensie, en in de milieu en farmaceutische industrie.

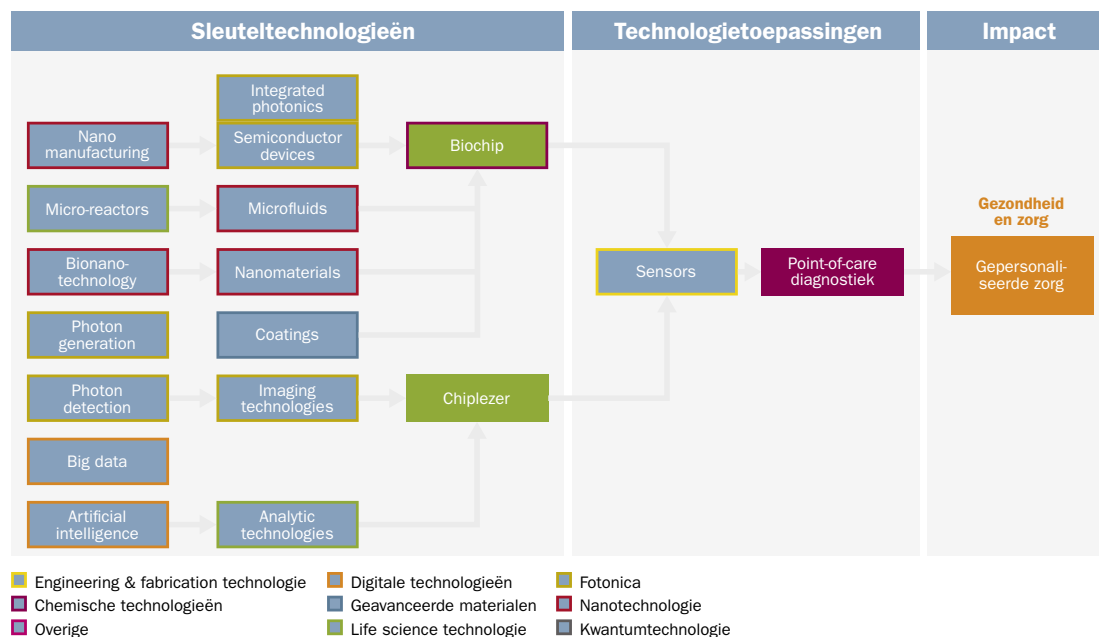
Technologietoepassingen

Een LoC bestaat uit twee onderdelen: de biochip en de chiplezer. De verschillende laboratorium modules op een biochip zorgen ervoor dat de chip de lichaamsstof (een monster van bijvoorbeeld bloed of de urine) opneemt, voorbereidt voor analyse, filtert en vermengt met (bio)chemische vloeistoffen, zodat er een chemische of biologische reactie ontstaat. Daarna worden de moleculen gesplitst, en gedetecteerd.¹² Vervolgens wordt de chip uitgelezen door de chiplezer die de informatie communiceert naar de patiënt, arts of verpleegkundige.

Sleuteltechnologieën

Voor het goed functioneren van de verschillende laboratoriummodules op een LoC is een samenspel tussen chemische technologieën, nanotechnologie, life science technologies, fotonica en digitale technologieën nodig. De multidisciplinaire

Figuur 6 - Stroomdiagram point-of-care (lab-on-a-chip)



Bron: TNO

¹¹ Jung, W. et al (2015). Point-of-care testing (POCT) diagnostic systems using microfluidic lab-on-a-chip technologies.

¹² Lim, Y.C., Kouzani, A

samenwerking die nodig is voor het ontwikkelen van een nieuwe LoC apparaat is dan ook één van de grootste uitdagingen.

De basis voor de biochip is een elektronische chip (MEMS-microelectromechanical systems) of optische chip (integrated photonics). De structuren op deze chips worden steeds kleiner en complexer gemaakt met behulp van nanomanufacturing. Coatings op deze chip zorgen onder andere voor de opname van de lichaamstoffen. Voor het vermengen van het monster met vloeistoffen zijn op deze chip hele kleine kanaaltjes aangebracht, waar reagerende vloeistoffen door stromen (microfluidics). Die vloeistoffen kunnen puur chemisch zijn, maar ook biologisch, bijvoorbeeld enzymoplossingen (microreactoren). Doordat deze vloeistoffen in aanraking komen met de moleculen uit de lichaamstoffen ontstaat er een chemische of biologische reactie.

Het detecteren van de moleculen die vrijkomen bij deze reactie kan op verschillende manieren plaatsvinden, maar optische detectie en electrochemische detectie komen het meest voor. Bij optische detectie worden kleine lichtbundels geschonden op het monster en wordt de intensiteit van het licht gemeten voor en nadat het in aanraking komt met de moleculen. Bij electrochemische detectie reageren electronen op aanraking met de moleculen.

Ook nanotechnologie levert een bijdrage aan de detectie, bijvoorbeeld doordat sommige nanomaterialen zich hechten aan een specifiek type molecuul, waardoor deze wordt gemarkeerd. Nanomaterialen hebben het potentieel om de nauwkeurigheid van LoCs te verbeteren. Ziektes zoals hartinfarcten en HIV kenmerken zich door een laag gehalte van specifieke proteïnen in het bloed en met nanotechnologie kunnen ook deze ziektes gedetecteerd worden. Dit onderzoek valt overigens onder het domein van nanobiotechnologie, waarin de mogelijkheden van nanotechnologie voor life science toepassingen worden onderzocht.

Geavanceerde analyse- en detectiemethoden vertalen de detectie naar een diagnose. Een nieuwe rol is hierin weggelegd voor data analytics en Artificial Intelligence. Data analytics wordt al gebruikt om de informatie die uit de detectie komt te koppelen aan de grenswaarden voor de diagnose. Met machine learning (Artificial Intelligence) kunnen algoritmes getraind worden, die snel ziektes herkennen op basis van patronen in data- of beeldmateriaal.

4.4 DIGITALE VEILIGHEID

De samenleving is steeds meer verbonden door het Internet, platformen, social media en digitale diensten. De onderliggende digitale infrastructuur is daarmee één van de vitale assets voor het functioneren van de maatschappij en staat onder druk van cyberaanvallen en cybercriminaliteit. Zelfrijdende auto's en smart grids vormen belangrijke doelwitten voor cybercriminelen. Digitale veiligheid is dan ook belangrijk element in een veilige en betrouwbare (digitale) infrastructuur.

Uit een enquête van het ministerie van Justitie en Veiligheid blijkt dat 44% van de Nederlanders zich zorgen maakt over cybercriminaliteit, met name identiteitsfraude, maar dat ze weinig doen op zich hier tegen te beschermen¹³. Het hacken van gegevens, ransomware en virussen vormen directe risico's voor de burgers. Veiligheid, privacy en identiteit van burgers is één van de urgente innovatieopgaven voor de komende jaren.

Technologietoepassingen

Digitale veiligheid bestaat uit drie elementen: identificatie en authenticatie, veilige communicatie en bescherming van persoonsgegevens. Identificatie en authenticatie is van belang voor het rechtmatig toegang krijgen (autorisatie) tot digitale informatie, zoals bankgegevens. Identificatie is de eerste stap in dit proces waarbij de identiteit van een persoon wordt vastgesteld. Authenticatie is het controleren of deze identiteit inderdaad deze persoon toebehoort. Breder gezien betekent informatieveiligheid dat niet-geautoriseerde personen geen toegang krijgen tot de gegevens, dat de gegevens compleet en juist zijn, en op elk moment beschikbaar voor geautoriseerde personen.¹⁴

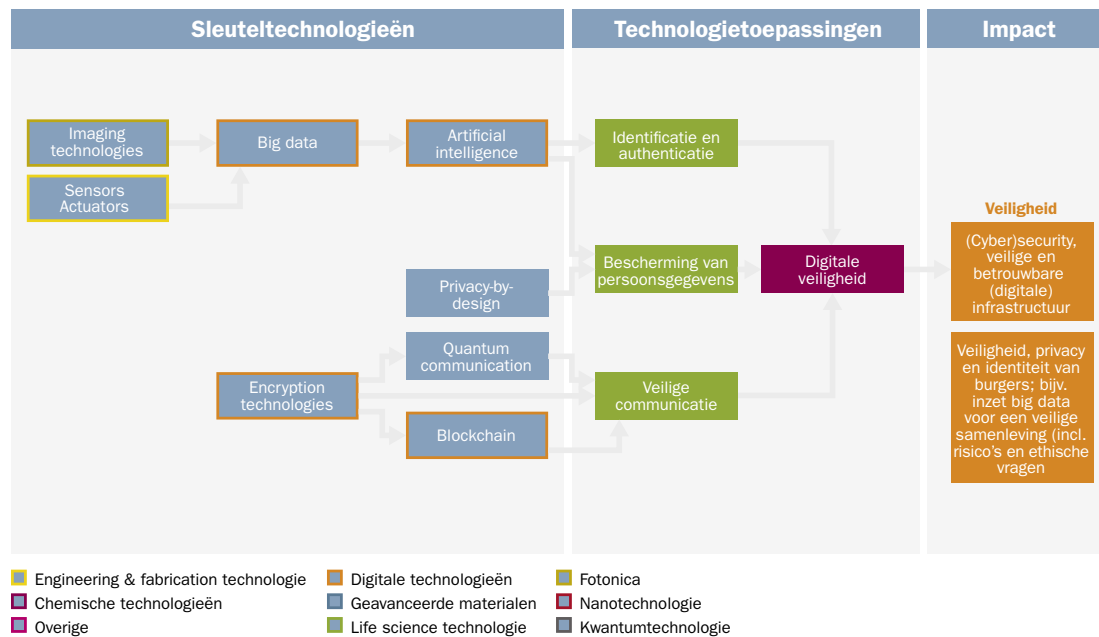
Veilige communicatie omvat de bescherming van het systeem waarin deze gegevens wordt opgeslagen of overgedragen tegen bijvoorbeeld hacken van gegevens en fraude. Dit is bijvoorbeeld van belang in patiënt data management systemen. Het gaat echter niet alleen om de bescherming van de gegevens en de systemen, maar ook om bescherming van de personen. Bescherming van persoonsgegevens is de derde toepassing waar bijvoorbeeld privacy onder valt.

Sleuteltechnologieën

Digitale veiligheid wordt gerealiseerd door digitale technologieën in samenspel met kwantum technologie en technologieën die gebruikt wordt voor identificatie met biometrische gegevens, zoals fotonica en fabrication & engineering technologies.

13 NOS (1-10-2018). 'Nederlander beschermt zich nog altijd te weinig tegen cybercrime': <https://nos.nl/artikel/2252841-nederlander-beschermt-zich-nog-altijd-te-weinig-tegen-cybercrime.html>. Z. & Duan, W. Microsyst Technol (2010) Lab-on-a-chip: a component view. 16: 1995. <https://doi.org/10.1007/s00542-010-1141-6>

14 Internationale standaard ISO/IEC 27002 (2005)

Figuur 7 - Stroomdiagram digitale veiligheid

Bron: TNO

Biometrische gegevens worden steeds vaker gebruikt voor het identificeren van personen. Deze gegevens kunnen fysieke kenmerken zijn (gezichts-herkenning, iris scans of vingerafdrukanalyse) of gedragskenmerken (stemherkenning, herkenning van typepatronen of handtekeningen).¹⁵ Beeldtechnologie wordt ingezet voor iris scans en het verkrijgen van gegevens over gezichtskenmerken, opnameapparatuur vertaalt het stemgeluid naar data, en sensoren nemen de vingerafdruk op. Slimme algoritmes vergelijken deze biometrische gegevens (big data) met de gegevens in een database. Wanneer er een match wordt gevonden, is de persoon geïdentificeerd. De authenticatie heeft dan nog niet plaatsgevonden, omdat de persoon zich met bijvoorbeeld namaakvingerafdrukken voor kan doen als iemand anders. Een Multi-Factor Authenticatie (MFA) kan dit risico verkleinen door biometrische gegevens te combineren met andere autorisatie methodes, zoals bijvoorbeeld een wachtwoord.

Naast de identificatie en authenticatie maatregelen zijn er verschillende technologieën die ICT systemen beschermen tegen hacken en fraude. Encryptietechnologie zorgt ervoor dat als de data gehackt wordt, de gegevens versleuteld blijven voor ongeautoriseerde personen. In de toekomst zorgen blockchain en kwantumcommunicatie voor een verkleind risico bij bijvoorbeeld transacties of uitwisselen van patiëntgegevens. Deze sleuteltech-

nologieën maken beide gebruik van encryptie-technologie. Blockchain gebruikt een combinatie van publieke en private sleutels, dit maakt het onmogelijk om informatie te vervalsen of te kopiëren zonder dat dit zichtbaar is voor iedereen. Kwantumcommunicatie gebruikt fotonen (quantum key distribution (QKD)) met een kwantumverbinding als sleutel voor het ontcijferen van een bericht. Een uitdaging bij deze technologieën is het mogelijk maken van het inzagerecht van burgers, wat een privacy vereiste is.

Een combinatie van systeemdesign, strategieën en technologie zorgt voor de bescherming van persoonsgegevens. Homomorfe encryptie biedt een uitkomst voor het waarborgen van de privacy door bewerking van data uit te voeren op versleutelde gegevens. Banken werken aan machine learning algoritmes die abnormaal gedrag signaleren in transactiedata wat kan duiden op identiteitsfraude. Daarnaast wordt rechtmatige toegang tot gegevens en privacy gewaarborgd door de vormgeving van het systeem met strategieën zoals multi-factor authenticatie en privacy-by-design, waarbij het minimaliseren, segregeren, abstraheren (groeperen) en versleutelen van gegevens centraal staat.

¹⁵ Digital Transformation Monitor (2018). Biometric technologies: a key enabler for future digital services.

4.5 ELECTROCHEMISCHE CONVERSIE

ECCM levert een bijdrage aan het oplossen van maatschappelijke uitdagingen Klimaat, Energievoorziening, Circulaire economie en Mobiliteit. Specifiek draagt ECCM bij aan innovatie-opgaven Opslagsystemen hernieuwbare energie en aan Mitigatie, en CO₂-arme economie.¹⁶

Technologietoepassingen

Bij ECCM gaat het om twee hoofdlijnen.¹⁷ De eerste, Power2Gas is de indirecte route waarbij (duurzame) energie gebruikt wordt in een elektrolytisch proces om waterstof te produceren. Het waterstof kan vervolgens gebruikt worden in verschillende toepassingen zoals energieopwekking (brandstofcellen, motoren) en chemische productie). In de tweede route, Power2Chemicals, is sprake van directe conversie. Grondstoffen als CO₂ of biomassa worden met behulp van (duurzame) energie in reactoren rechtstreeks omgezet in bruikbare koolwaterstoffen (bijvoorbeeld mierenzuur) Zo draagt elektrochemische conversie bij aan maken van producten en grondstoffen uit een niet fossiele bron.

Sleuteltechnologieën

Vijf groepen sleuteltechnologieën zijn vooral betrokken bij ECCM: chemie, materialen, nanotechnologie, digitale technologie, en engineering en fabrication technologies. Sommige technologieën spelen vooral een rol aan de R&D /technologieont-

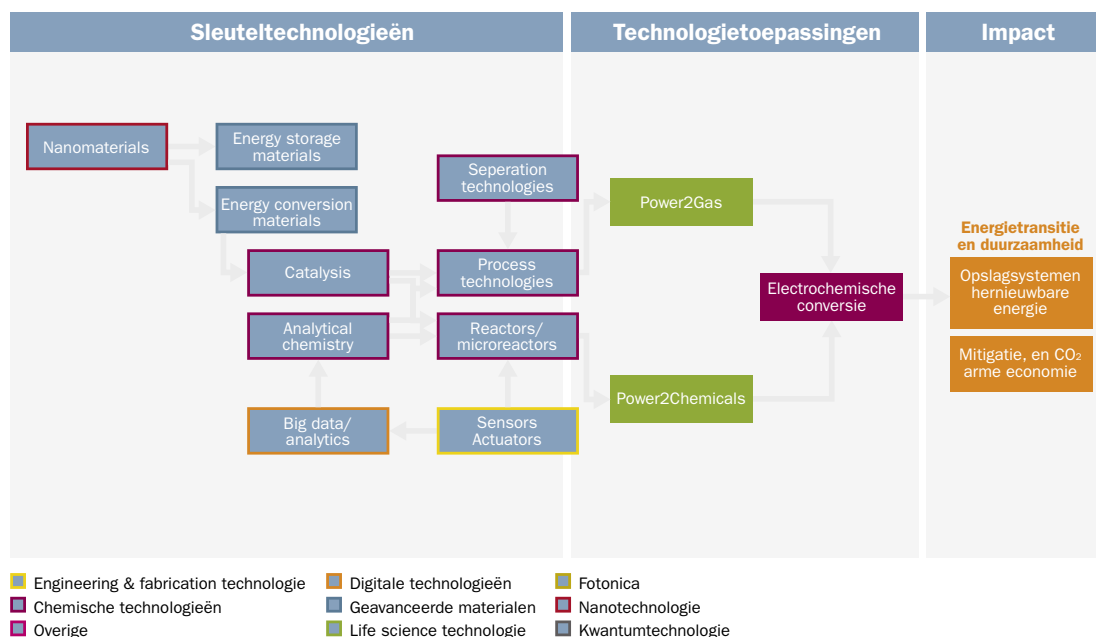
wikkelingskant (materialen en nano) terwijl anderen meer aan de productiekant een rol spelen: engineering en procestechnologie.

Chemische technologieën spelen uiteraard een hoofdrol. Analytische chemie (meten) speelt, steeds meer in combinatie met big data analytics, een rol in het monitoren en beheersen van processen op basis van data die geautomatiseerd gegenereerd en verwerkt worden. Chemische technologie is verder van belang in katalyse, procestechnologie en scheidingstechnologie. Reactoren en microreactoren vormen een eerste integratiestap waarbij energie en grondstoffen samengebracht worden met een katalysator. Scheidingstechnologie (membranen, filters, etc.) zijn essentieel om processen goed te laten verlopen en een zuiver eindproduct te krijgen.

Geavanceerde materialen en nanotechnologie zijn kerntechnologieën in de ontwikkeling van katalysatoren die chemische conversieprocessen mogelijk of efficiënter maken. Nanomaterialen maken nieuwe typen katalysatoren mogelijk en kunnen het rendement vergroten.

Ook in elektrochemische conversie worden digitale technologieën steeds belangrijker niet alleen in combinatie met analytische chemie zoals hiervoor genoemd, maar ook in combinatie met engineering en fabrication technologies. Hierbij zijn sensoren

Figuur 8 - Stroomdiagram electrochemische conversie



Bron: TNO

¹⁶ ECCM draagt niet bij aan CO₂ opslag. Integendeel het kan CO₂ gebruiken als grondstof.

¹⁷ Een derde toepassing Power2Heat wordt hier niet besproken omdat er geen conversie plaatsvindt.

en actuatoren belangrijk in het monitoren en beheersen van productieprocessen.

Uiteindelijk draait het bij elektrochemische conversie om systeemintegratie: grondstoffen, energie en katalysatoren worden in reactoren in een fabriek geïntegreerd met een zodanige schaal-grootte dat er efficiënt en concurrerend geproduceerd kan worden. De uitdaging zit er vooral in deze schaalgrootte en efficiëntie te bereiken.

4.6 CONNECTED EN COÖPERATIEVE AUTOMATISCHE MOBILITEIT (CCAM)

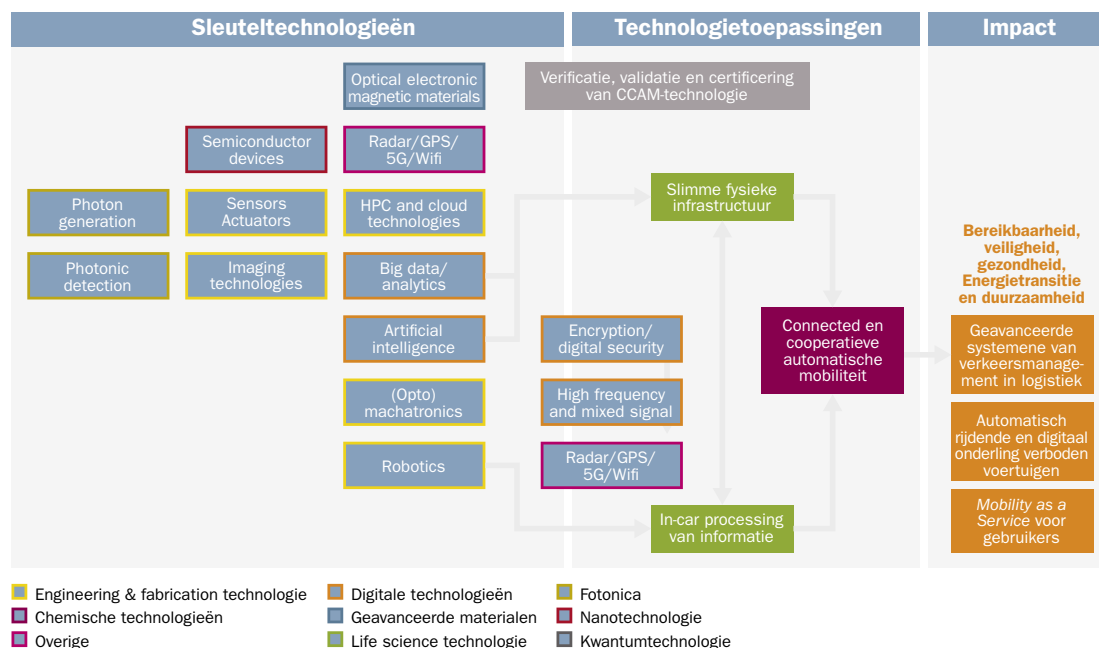
Connected en cooperatieve automatische mobiliteit maakt het mogelijk dat verschillende vervoersmodaliteiten steeds meer 'als een service' beschikbaar komen, afgestemd op de behoefte (in tijd, plaats en ruimte) van iedere unieke gebruiker. Connected en cooperatieve automatische mobiliteit is gekoppeld aan beide Vernieuwingsopgaven binnen de Innovatieopgave 'Slimme mobiliteit': geavanceerde verkeersmanagementsystemen en automatisch rijdende en digitaal onderling verbonden voertuigen. Centraal in deze opgaven staan enerzijds de ontwikkeling en toepassing van automatische waarnemingssystemen op basis van sensoren, data en betrouwbare en veilige digitale communicatie tussen voertuigen onderling en tussen voertuigen en fysieke infrastructuur. Aan de andere kant vormt voertuigtechniek, zowel op het gebied van energiebronnen (bijvoorbeeld

elektrisch en waterstof) als aansturing (waaronder opto-mechatronica en robotica) een belangrijke ontwikkellijn binnen CCAM. Ontwikkelingen in ICT en digitale veiligheid zijn overkoepelend zeer van belang voor CCAM.

Connected en coöperatieve automatische mobiliteit draagt via energie-efficiënte voertuigen en emissiereductie door optimale routing bij aan een duurzame leefomgeving. De reactietijd van automatische aangestuurde systemen en voertuigen is doorgaans korter dan die van mensen. Zodoende draagt CCAM bij aan de maatschappelijke uitdagingen (verkeers)veiligheid (minder verkeersslachtoffers) en daarmee Gezondheid. Slimme verkeersmanagementsystemen die bijvoorbeeld flexibel inspelen op real-time data over bezettingsgraad bevorderen de doorstroming en dragen zo positief bij aan duurzaamheid en leefbaarheid.

Overigens is het nog niet volledig te overzien hoe het volume van verkeersstromen in bijvoorbeeld binnensteden zal veranderen als connected en coöperatieve automatische mobiliteit op grote schaal wordt gerealiseerd. Mogelijk treden er in enige mate rebound effecten op, doordat het flexibele aanbod van Mobility as a Service extra vraag naar mobiliteit oproept en er derhalve meer voertuigbewegingen en mogelijk ook voertuigverliesuren ontstaan.

Figuur 9 - Stroomdiagram Connected en Coöperatieve Automatische Mobiliteit (CCAM)



Technologietoepassingen

Connected en coöperatieve automatische mobiliteit kent twee eindstations van technologietoepassing: 'slimme' fysieke infrastructuur, met op automatische waarneming- en data-analyse gebaseerde informatievoorziening aan de ene kant en 'in car' processing van informatie aan de andere kant. Op basis van de vergaarde informatie en verwerking hiervan, kunnen vervolgens geautomatiseerde besturingsvormen in het voertuig in werking treden.

Een belangrijk aspect voordat beide eindstations van technologietoepassing via grootschalige implementatie van CCAM in het mobiliteitssysteem gerealiseerd kan worden, is verificatie en validatie van de verschillende technologische componenten en hun onderlinge interactie. Bewezen veiligheid en certificering is een absolute randvoorwaarde voordat automatische voertuigen toegelaten kunnen worden op de weg en wetwijzigingen kunnen doorgevoerd waarmee coöperatief en automatisch rijden binnen de kaders van de wegenverkeerswet vallen.

Sleuteltechnologieën

Met betrekking tot Connected en coöperatieve automatische mobiliteit onderscheiden we vier belangrijke 'flows' waarin verschillende sleuteltechnologieën een belangrijke bijdrage leveren: 1.) scannen/waarnemen; 2.) verwerken van informatie (zowel 'in car' als door de fysieke infrastructuur ten behoeve van optimale informatievoorziening gegeven de actuele situatie op de weg, spoor, etc.); 3.) het omzetten van 'in car' vergaarde informatie naar automatisch aangestuurde mechanische actie; en tenslotte, meer overkoepe- lend, 4.) digitale communicatie tussen voertuigen onderling en tussen voertuigen en de fysieke infrastructuur.

Voor het waarnemen en het vergaren van informatie zijn sensoren en actuatoren (uit het technologiecluster Engineering en fabrication technologie) cruciaal. Voor deze sensoren zijn sleuteltechnologieën uit verschillende clusters benodigd: allereerst semiconductor devices (uit het cluster nanotechnologie), daarnaast is fotonica (met name photon generation en photonic detection) een belangrijke input voor imaging technologieën. Radar, GPS (of Galileo), 5G en wifi signalen zijn nodig voor communicatie van de sensordata. Vanuit het cluster geavanceerde materialen is onder andere optische, elektronische en magnetische materialen van belang om radar, GPS (of Galileo), 5G en wifi signalen optimaal te kunnen verzenden en ontvangen.

High Performance Computing en cloudtechnologie, tezamen met big data-analyse en kunstmatige intelligentie spelen een sleutelrol in het verwerken van data en om deze om te zetten in waardevolle

informatie voor het mobiliteitssysteem. Deze 'flow' linkt enerzijds aan de informatievoorziening langs of boven de infrastructurele werken en anderzijds aan de informatieverwerking in voertuigen. Binnen voertuigen zorgen opto-mechatronica en robotica vervolgens voor de mechanische opvolging van verwerkte informatie, denk aan accelereren, afremmen, cruise control, sturen (uitwijken), inparkeren, etc.

In de continue digitale communicatie tussen de voertuigen onderling (bijvoorbeeld bij platooning) en tussen fysieke infrastructuur en voertuigen (bijvoorbeeld dynamische routeadviesing en -keuze) spelen digitale technologieën een sleutelrol. Het gaat dan met name om High Frequency and mixed Signal technologie en encryptie- en andere digitale veiligheidstechnologie. Ook is voor de continue communicatie tussen voertuigen onderling en tussen voertuigen en fysieke infrastructuur radar/GPS (of Galileo)/5G/wifi van belang.

4.7 DISCUSSIE

Deze voorbeelden laten zien dat een integrale benadering van maatschappelijke vragen essentieel is, omdat één enkele technologie niet de oplossing biedt. Belangrijk is het combineren van technologieën wat (mogelijk) leidt tot nieuwe toepassingen en in potentie antwoord biedt op innovatieopgaven.



5 BEVINDINGEN EN AANDACHTSPUNTEN

De analyse hierboven laat zien dat de relatie tussen sleuteltechnologieën en maatschappelijke uitdagingen, en de koppeling van die twee, niet eenduidig is. Dat heeft te maken met de brede inzetbaarheid van sleuteltechnologieën, het feit dat sommige technologieën nog ver afstaan van toepassing (maturity) en de complexiteit van maatschappelijke uitdagingen.

Samenvattend zien wij een aantal bevindingen:

1. Figuur 2 laat zien dat iedere sleuteltechnologie bijdraagt aan meerdere maatschappelijke uitdagingen, al verschilt de 'breedte' waarmee sleuteltechnologie ingezet kunnen worden ten behoeve van maatschappelijke uitdagingen. De meest generieke groep betreft de digitale technologieën. Aan de andere kant richten bijvoorbeeld chemische technologieën zich meer specifiek op de energietransitie en duurzaamheid.
2. Omgekeerd heeft iedere maatschappelijke uitdaging een combinatie van meerdere sleuteltechnologieën nodig: het effectief aanpakken van maatschappelijke uitdagingen vraagt in veel gevallen om technologische doorbraken in verschillende domeinen. Een duurzame decentrale energievoorziening bijvoorbeeld, heeft niet alleen nieuwe opslagsystemen voor zonne- en windenergie nodig, maar ook digitale technologie die smart grids mogelijk maakt.
3. Sleuteltechnologieën zijn een noodzakelijke, maar veelal niet een voldoende voorwaarde voor het effectief adresseren van maatschappelijke uitdagingen. Naast technologische doorbraken zijn er nieuwe businessmodellen nodig, sociale innovatie, nieuwe organisatievormen en maatschappelijk draagvlak.
4. De mate waarin een maatschappelijke uitdaging afhankelijk is van technologiedoorbraken of juist meer van sociaaleconomische en institutionele ontwikkelingen verschilt. Zo is er in de maatschappelijke uitdaging Energietransitie en duurzaamheid een groot verschil tussen de innovatieopgave 'Opslagsystemen hernieuwbare energie' die sterk afhankelijk is van nieuwe technologie (power to gas) en de opgave 'Grootschalige energiebesparing gebouwde omgeving' die vooral afhankelijk is van nieuwe institutionele en financiële instrumenten. In de uitdaging

'Gezondheid en zorg' zien wij een groot verschil tussen 'Preventie en management van chronische ziekten' die vooral afhankelijk is van gedragsverandering en 'Nieuwe medische technologie' die zich richt op apparaten en instrumenten zoals lab-on-a-chip en de draagbare kunstnier die vooral afhankelijk zijn van technologische ontwikkelingen.

5. Sleuteltechnologieën dragen niet alleen bij aan het oplossen van maatschappelijke uitdagingen. Doordat technologieontwikkeling steeds sneller gaat, schept deze ook nieuwe maatschappelijke uitdagingen. Denk daarbij niet alleen aan ethische vragen rond genetische modificatie, maar ook vragen rond cybersecurity (bijvoorbeeld het kraken van cryptografie met de kwantumcomputer), privacy, het recht om niet geanalyseerd c.q. vergeten te worden, en het opslaan van DNA in forensische databanken.

BIJLAGE 1 KOPPELING 50

SLEUTELTECHNOLOGIEËN AAN

4 THEMA'S

	Energie transitie en duurzaamheid	Landbouw, water en voedsel	Gezondheid en zorg	Veiligheid
Geavanceerde materialen				
Energy storage materials				
Energy conversion materials				
Optical, electronic, magnetic materials (incl. 2D and graphene)				
Smart, self-healing, self-organizing materials				
Thin films and coatings				
Designer and meta materials				
Composites and ceramics				
Bio(related) and soft materials				
Structural materials				
Kwantumtechnologieën				
Quantum computing				
Quantum communication				
Quantum sensors and metrology				
Fotonica				
Photovoltaics				
Integrated photonics				
Imaging technologies				
Photonic detection				
Photon generation technologies				
Digitale technologieën				
Artificial intelligence (incl. machine and deep learning)				
Big data and data analytics				
Encryption technologies/ digital security				
Block chain				
High Performance Computing, Grid Computing and Cloud Technologies/Computing				
Nanotechnologie				
Nanoscale devices				
Micro- and nanofluidics				
Semiconductor devices				
Nanomanufacturing				
Nanomaterials				
Bionanotechnology				
Chemische technologieën				
(Bio)Processtechnologie, including process intensification				
Microreactors				
Separation technology				
Catalysis				
Analytic technologies				
Electrification / Hydrogen technology / power to gas				
Life science technologie				
Industrial biotechnology (white)				
Gene editing/precise genetic engineering				
Organ on a chip				
Nanomedicine				
Stem cell technology				
Synthetic cell technology				
Biochips and biosensors				
Biocatalysis				
Genomics/proteomics/metabolomics/ glycomics/X-omics)				
Biofabrication				
Engineering & fabrication technologieën				
Sensors and actuators				
(Opto)mechatronics				
Additive manufacturing / 3D printing				
Robotics				
Cyberphysical/embedded systems				
High frequency & mixed signal technologies				

BIJLAGE 2 INNOVATIEOPGAVEN PER THEMA

ENERGIETRANSITIE EN DUURZAAMHEID

Nieuwe technologie, businessmodellen, institutionele vernieuwing en regulering voor decentrale productiesystemen (voor producent en 'prosumert')

Balanceren vraag en aanbod van energie op basis van continue monitoring en real-time voorspellingen op basis van een slimme combinatie van smart grid, ICT systemen, data, computermodellen en regulering

Opslagsystemen voor hernieuwbare energie (zon, wind, water). Voorbeeld: solar to gas

Grootschalige energiebesparing (gebouwde omgeving, industrie, verkeer en vervoer)

Adaptatie: klimaatbestendige steden: bebouwing; waterafvoer en hergebruik; uitstoot CO₂, NO_x, ...; regelgeving

Mitigatie: Koolstofarme economie: CO₂ opslag, hernieuwbare energie, gebruik van restwarmte industrie

Ontwikkelen en efficiënt gebruiken van nieuwe biomaterialen: biobased economy voor voedsel en niet-voedsel toepassingen)

Circulaire economie: het sluiten van energie-, grondstof- en waterketens) en ontwikkeling van nieuwe waardeketens en businessmodellen daarvoor

Digitalisering, automatisering en robotisering van productieprocessen, cloud- en IoT-gebaseerd

LANDBOUW, WATER EN VOEDSEL

Ontwikkelen en benutten van geïntegreerde waterbeheersystemen op basis van sensoren, algoritmes, satellietdata, etc.

Leven met en van de zee: offshore, deep-sea mining, sea farming

Ontwikkelen van nieuwe, gezonde voedingsmiddelen en persoonlijke advisering (personalised nutrition)

Koppelen van inzichten voeding en gedrag: maken van gezonde keuzes en ondersteuning daarbij door apps en data

Intensieve en duurzame productiesystemen voor voedsel en biomaterialen door precisielandbouw (NL en wereldwijd)

Verbeteren landbouwproductie door integratie van plantenverdeling en gewasmanagement – koppeling van data uit moleculaire veredeling en productiesystemen

Ontwikkelen nieuwe bronnen en landbouwproducten. Voorbeeld: eiwitten op basis van algen ten behoeve van de eiwittransitie

GEZONDHEID EN ZORG

Preventie en management van chronische ziekten: bevordering gezond gedrag en 'health literacy', persoonlijke coachingssystemen op basis van data van het individu en omgevingsdata

Gepersonaliseerde zorg: ontwikkeling van individu gerichte diagnostiek, behandelmethoden en medicijnen

Nieuwe medische technologie: Voorbeelden: operatierobots, zorgrobots en draagbare kunstnieren, biomedische materialen en regeneratieve geneeskunde

Nieuwe zorgconcepten en -modellen op basis van e-health en m-health voor een duurzaam en houdbaar zorgstelsel

Nieuwe arrangementen voor werken in de digitale samenleving (smart working, pensioenen, sociale zekerheid, basisinkomen, vrije tijd)

Slimme huizen en wijken voor een gevarieerde bevolking (vergrijzing; veranderende samenstelling huishoudens)

VEILIGHEID (CYBER, FYSIEK, OPERATIONEEL EN WATER)

Adaptatie: (her)inrichting landschap, 'eco-engineering' en dynamisch ontwerpen (rivieren, kust, landschap)

Veilige en betrouwbare fysieke en digitale infrastructuur

Veiligheid, privacy en identiteit van burgers: bijvoorbeeld inzet big data voor een veilige samenleving (inclusief risico's en ethische vragen)

Voorkómen van en omgaan met dreigingen (bijvoorbeeld radicalisering, terrorisme en hybride oorlogsvoering)

Bescherming van mens en objecten tegen fysieke en chemische dreigingen door bijvoorbeeld kleding en bepantsering of actieve systemen

Het snel en veilig optreden van civiele en militaire eenheden (bijvoorbeeld adaptieve krijgsmacht en de krijgsmacht als genetwerkte organisatie)

Automatiseren van processen bij militaire en civiele diensten (bijvoorbeeld automatiseren van informatievoorziening en logistiek, en mens-machine interactie)





› **Auteurs:**

Babette Bakker
Govert Gijsbers
Thijmen van Bree
Maarten van Reijzen

In samenwerking met Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat (Directie Innovatie en Kennis van het DG
Bedrijfsleven en Innovatie)

TNO innovation
for life

TNO.NL

MISSIE EN STRATEGIE

TNO verbindt mensen en kennis om innovaties te creëren die de concurrentiekracht van bedrijven en het welzijn van de samenleving duurzaam versterken. Dat is onze missie en daar werken wij, de 2600 professionals van TNO, dagelijks aan.