

Analyse bijdrage sleuteltechnologieën aan maatschappelijke missies

Dit document heeft tot doel om, indachtig de motie Van der Woude/Van der Graaf¹, inzicht te geven in de relevantie van technologieën voor grote maatschappelijke transitie. Aansluitend bij staand kabinetsbeleid, is hierbij gekeken naar de bijdrage van technologieën gedefinieerd als sleuteltechnologieën. Voor de maatschappelijke transitie is gekeken naar de 5 centrale missies zoals gedefinieerd in het missiegedreven innovatiebeleid.

Sleuteltechnologieën

Sleuteltechnologieën worden gekenmerkt door een breed toepassingsgebied of bereik in innovaties en/of sectoren.² Ze zullen de manier waarop we leven, leren, innoveren, werken en produceren ingrijpend veranderen en kansen bieden om problemen in de samenleving op te lossen. Sleuteltechnologieën, in combinatie met andere technologieën en wetenschappelijke disciplines, zijn essentieel bij het oplossen van maatschappelijke uitdagingen en/of leveren een grote potentiële bijdrage aan de economie, door het ontstaan van nieuwe bedrijvigheid en nieuwe markten, het vergroten van de concurrentiekracht, en het versterken van de banengroei. Ze maken baanbrekende proces-, product- en/of diensteninnovaties mogelijk en zijn relevant voor de wetenschap, de maatschappij en de markt.

Missiegedreven Innovatiebeleid

In het missiegedreven innovatiebeleid werken overheid, bedrijfsleven, kennisinstellingen en andere stakeholders samen aan innovatie voor economische en maatschappelijke impact. Dit doen we aan de hand van missies, ofwel 'moonshots'. We dagen innovatoren uit om met concrete oplossingen te komen voor de uitdagingen waar Nederland voor staat. Deze inzet bundelen we in gezamenlijke Kennis- en Innovatieagenda's (KIA's). Departementen kunnen de missies daarnaast ook inzetten als richtinggevend kader voor hun publieke inzet op kennis en innovatie. Het Kennis en Innovatieconvenant (KIC) weerspiegelt de inzet en de middelen die publieke en private partners bundelen voor onderzoek en innovatie op de missies. Op deze manier kunnen we met innovatieve oplossingen nationaal en internationaal bijdragen aan maatschappelijke uitdagingen en zo economische kansen verzilveren.

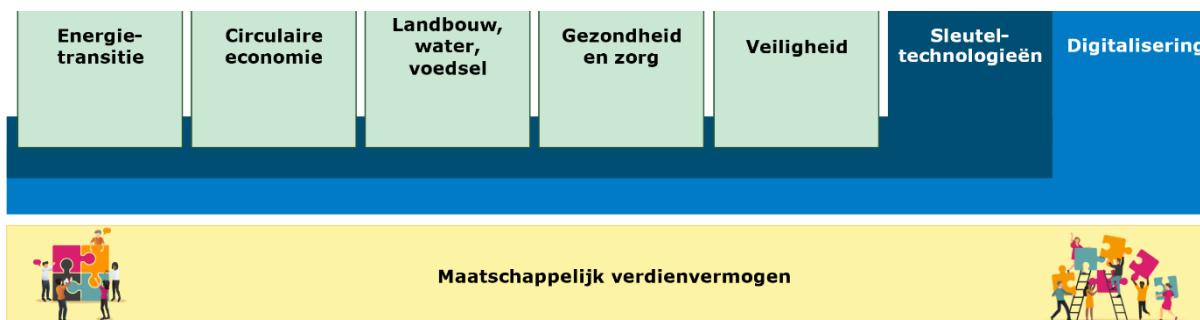
In 2023 zijn de centrale missies van het Missiegedreven Innovatiebeleid opnieuw vastgesteld. Dit zijn:

- **Energietransitie:** Nederland klimaatneutraal in 2050;
- **Circulaire Economie:** Nederland volledig circulair in 2050;
- **Gezondheid & Zorg:** Mensen in Nederland leven 5 jaar langer gezond en er zijn 30% minder gezondheidsverschillen tussen sociaal-economische groepen in 2040;
- **Landbouw, Water en Voedsel:** Een vitaal landelijk gebied en een veerkrachtige natuur in een klimaatbestendig Nederland. Water en bodem zijn sturend, het landbouw- en voedselsysteem is duurzaam en gezond en de delta is veilig;
- **Veiligheid:** Nederland is veilig en weerbaar tegen externe dreigingen en ondermijnende criminaliteit, zowel in de fysieke omgeving als het digitale domein.

¹ <https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/moties/detail?id=2022D49922&did=2022D49922>

² [Key enabling technologies \(europa.eu\)](#)

Een sterke kennis-, innovatie- en uitvoeringsbasis voor (digitale) sleuteltechnologieën is een belangrijk doorsnijdend thema van het missiegedreven innovatiebeleid, zowel voor oplossingen voor *de maatschappelijke missies als voor het toekomstig verdienvermogen*.³



Basislijst sleuteltechnologieën

In 2023 is een nieuwe basislijst met 44 sleuteltechnologieën onderverdeeld in acht categorieën vastgesteld. De technologieën variëren van Energy materials en Quantum communication tot Robotics en Nanomanufacturing. De basislijst sleuteltechnologieën vormt de basis voor de Kennis en Innovatieagenda Sleuteltechnologieën en de Nationale Technologiestrategie (NTS). De basislijst ziet er als volgt uit:

Categorie	Sleuteltechnologieën
Advanced materials	Energy materials Optical, electronic, magnetic and nanomechanical materials Meta materials Soft/bio materials Thin films and coatings Construction and structural materials Smart materials
Photonics and optical technologies	Photonics and optical technologies Optical systems and integrated photonics Photonic/optical detection and processing Photon generation technologies
Quantum technologies	Quantum Computing Quantum communication Quantum sensing
Digital and information technologies	Artificial Intelligence (AI) Data science, data analytics and data spaces Cyber security technologies Software technologies and computing Digital connectivity technologies Digital Twinning and Immersive technologies Neuromorphic technologies
Chemical technologies	(Bio)Process technology, including process intensification

³ <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-economische-zaken-en-klimaat/documenten/kamerstukken/2023/05/30/herijkte-missies-van-het-missiegedreven-innovatiebeleid>, 30 mei 2023, pagina 7

	(Advanced) Reactor engineering Separation technology Catalysis Analytical technologies Electricity-driven chemical reaction technologies
Nanotechnology	Nanomanufacturing Nanomaterials Functional devices and structures (on nanoscale) Micro- and nanofluidics Nanobiotechnology / Bionanotechnology
Life science and biotechnologies	Biomolecular and cell technologies Biosystems and organoids Biomanufacturing and bioprocessing Bio-informatics
Engineering and fabrication technologies	Sensor and actuator technologies Imaging technologies Mechatronics and opto-mechatronics Additive manufacturing Robotics Digital manufacturing technologies Micro electronics Systems engineering

Methode

Omdat sleuteltechnologieën breed gedefinieerd worden en in verschillende combinaties en via verschillende wegen kunnen bijdragen aan de maatschappelijke missies, is het onmogelijk om exact te kwantificeren wat de bijdrage van de verschillende sleuteltechnologieën aan de missies is. Wat wel haalbaar is, is een kwalitatief inzicht te geven van de meest belangrijke sleuteltechnologieën en hun bijdrage aan de diverse missies. Dit analysedocument geeft daarvoor een eerste schets.

Het analysedocument is opgesteld door het ministerie van Economische Zaken en Klimaat in samenspraak met het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap, op basis van gesprekken met de verantwoordelijken voor de centrale missies van het Missiegedreven Innovatiebeleid bij de diverse vakdepartementen. Per centrale missie worden de relevante sleuteltechnologiecategorieën genoemd. De overzichten zijn niet uitputtend; het feit dat een bepaalde categorie niet genoemd is, betekent niet dat deze niet van belang is voor een specifieke missie.

Voor vrijwel alle centrale missies behoren *Digital and information technologies* en *Engineering and fabrication technologies* tot de meest relevante categorieën. Ook de relevantie van de categorieën *Advanced materials*, *Chemical technologies* en *Life science and biotechnologies* werd breed ervaren; ze werden voor ieder van de vijf thematische KIA's genoemd als belangrijk sleuteltechnologiecategorie. De andere drie sleuteltechnologiecategorieën (*Photonics and optical technologies*, *Quantum technologies* en *Nanotechnology*) werden niet door meerdere missies gekenmerkt als zijnde van primair belang. Een mogelijke verklaring ligt in het feit dat *Photonics and optical technologies* en *Nanotechnology* minder zichtbaar zijn en geïntegreerd zijn in technologieën of toepassingen, denk bijvoorbeeld aan sensoren. Voor *Quantum technologies* kan de verklaring zijn dat deze technologieën minder marktrijp zijn, waardoor de impact op maatschappelijke uitdagingen op dit moment minder goed te schatten is.

Een uitgebreidere versie van deze informatie zal ook gedeeld worden als onderdeel van de hernieuwde Kennis- en Innovatieagenda Sleuteltechnologieën die naar verwachting rond het najaar verschijnt.

Bijdrage sleuteltechnologieën per missie

Energietransitie

De grootste en voor de missie Energietransitie belangrijkste categorieën zijn *Advanced Materials* en *Chemical Technologies*. Daarnaast wint *Digital and information technologies* snel aan omvang en belang. *Life science and biotechnologies* zijn voor de energietransitie niet van belang, net zo min als *Quantum technologies*. *Photonics and optical technologies* zijn over het algemeen minder belangrijk, met als grote uitzondering het doorontwikkelen van photovoltaïcs om deze steeds duurzamer, efficiënter, flexibeler en beter geïntegreerd te kunnen toepassen

Advanced materials is van belang omdat de missie energietransitie grotendeels over apparatuur en installaties gaat. Deze categorie kan bijdragen aan winst op het gebied van slijtage, efficiëntie, gewicht, sterkte, levensduur, kosten en opbrengsten. Ook voor circulariteit is deze categorie relevant. Een belangrijk speerpunt op de innovatieagenda is bijvoorbeeld de substantiële beperking van het gebruik of vervanging van schaarse materialen (zoals zeldzame aardmetalen) of materialen waarbij risico's op het gebied van mensenrechten worden gelopen, zoals bepaalde materialen en metalen die in windturbines worden gebruikt.

Het belang van *Chemical technologies* speelt vooral voor industriële toepassingen. Het gaat hierbij om bijvoorbeeld verbetering van efficiency van bestaande reacties en het ontwikkelen van nieuwe grondstoffen en producten door middel van nieuwe reacties. Voor circulariteit van koolstof is deze categorie relevant, net als voor andere grondstoffen. Een van de innovatievraagstukken die in de IKIA Klimaat en Energie naar voren komt is bijvoorbeeld CCU (Carbon Capture and Usage); de afvang en het gebruik van CO en CO₂ als grondstof voor producten.

Digital and information technologies is een categorie die overal in terugkomt. Oplossingen die worden ontwikkeld zijn digitaal makkelijk te kopiëren en zijn vervolgens generiek toepasbaar in de energiesector. Het ontwikkelen van digital twin technologie voor het energiesysteem kan bijvoorbeeld bijdragen aan het betrouwbaarheids- en veiligheidsaspect van het energiesysteem van de toekomst.

Circulaire economie

De meest relevante categorieën voor de missie "circulaire economie" zijn *Advanced materials* en *Chemical technologies*, op de tweede plaats komen *Life science and biotechnologies* en *Engineering en fabrication technologies*. De categorie *Digital information technologies* is slechts beperkt van belang.

Advanced materials zijn van belang voor onder andere substitutie van materialen die nu gebruikt worden (ook voor circulair bouwen), voor circulair ontwerpen en bijvoorbeeld het ontwikkelen van biodegradable plastics. Daarnaast is deze categorie relevant in het kader van kritieke materialen en strategische autonomie, zoals die zijn beschreven in de Europese Critical Raw Materials Act⁴ en de Nationale Grondstoffenstrategie⁵. De focus ligt niet alleen op functionele eigenschappen van materialen voor de primaire toepassing, maar ook op de mogelijkheden voor hergebruik en verwerking.

Chemical technologies is relevant voor onder meer het scheiden van materiaalstromen bij afvalverwerking, voor analyse van materialen en voor bijvoorbeeld chemisch recyclen.

⁴ https://single-market-economy.ec.europa.eu/publications/european-critical-raw-materials-act_en

⁵ <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2022/12/09/nationale-grondstoffenstrategie>

Life science and biotechnologies is als categorie onder andere relevant voor het verwerken van afvalstoffen, de productie van *biobased* materialen, het omzetten van stromen van reststoffen in nuttige materialen en substitutie van belastende materialen door *biobased* materialen.

Engineering and fabrication technologies is vooral van belang vanwege processen en sensoren voor afvalscheiding, het circulair denken bij het maken van additieven en voor product- en productiestandaarden op het gebied van CE.

Landbouw, water, voedsel

Sleuteltechnologieën zijn een belangrijk onderdeel van de missie LWV. De vier meest relevant categorieën zijn *Digital and information technologies*, *Chemical technologies*, *Engineering and fabrication technologies* en *Life science and biotechnologies*. In minder mate is ook *Photonics and optical technologies* van belang. Hoewel nu nog niet prominent, wordt op termijn ook een rol voorzien voor *Nanotechnology*.

Digital and information technologies is van belang voor het ontsluiten en bewerken van feitelijke gegevens, modellering, voorspellen en digital twinning. Dit is nodig om preciezer te kunnen telen en te oogsten (precisielandbouw) waardoor minder voedingsstoffen, water en bestrijdingsmiddelen noodzakelijk zijn. De samenhang met *Engineering and fabrication technologies* en *Photonics and optical technologies* is hierbij belangrijk ten behoeve van het verkrijgen van betere en betrouwbare data met de modernste sensoren. Ook voor het monitoren van de biodiversiteit en andere natuurwaarden is deze sleuteltechnologie cruciaal. Ketentransparantie, ondersteund door datawetenschappen, kan bijdragen aan verdienmodellen gebaseerd op eerlijke prijzen. Ook voor de maatschappelijke opgaven voor de grote wateren is de inzet van deze technologie op diverse manieren van belang.

Chemical technologies wordt binnen LWV gebruikt ten behoeve van bijvoorbeeld waterzuivering (waaronder het verwijderen of afbreken van medicijnresten), maar ook voor het scheiden van dierlijke mest in afzonderlijke bruikbare fracties,, en voor het verwerken van grondstoffen in voedselproductie in voor bio-based materialen. Mogelijk ook is biologische conversie in de te zetten voor het verwerken en toepassen van slib en voor waterzuivering.

Engineering and fabrication technologies is relevant voor zowel het vergaren van data (sensoren), als het verder automatiseren van productieprocessen. Zo worden robots zowel in diverse landbouwsectoren steeds vaker gebruikt, zoals de volledig autonoom werkende melkrobots, of robots in de akkerbouw om onkruid te herkennen en te wieden en plukrobots in de glastuinbouw. Maar ook voor maatschappelijke opgaven in natuurgebieden en voor wateren is de inzet van onderdelen van deze sleuteltechnologie van belang.

Life science and biotechnologies wordt ingezet voor bijvoorbeeld voor plantenveredeling, bijvoorbeeld voor het weerbaar maken van rassen tegen ziekten en plagen of klimaatomstandigheden als verdroging of hitte, bioprocessing van biomassa in de voedselverwerkingsindustrie en voor de productie van alternatieve eiwitten ((precisie)fermentatie).

Veelal is de combinatie van deze sleuteltechnologieën cruciaal voor de missies van deze KIA. Een verkenning van Technopolis (binnenkort openbaar) naar de inzet van Sleuteltechnologieën voor de KIA-LWV missies adviseert om daarbij 2 clusters van sleuteltechnologieën te onderscheiden en die gericht voor de missies in te zetten. Een eerste cluster is een combinatie van digital technologies, engineering and fabrication technologies en onderdelen van photonic and optical technologies dat zich richt op digitalisering en slimme technologie en een tweede cluster van life science and

biotechnologies, chemical technologies en onderdelen van nanotechnology dat zich richt op biotechnologie en (bio)chemie.

Gezondheid & Zorg

Voor de missie G&Z is een breed palet aan technologieën belangrijk en met name de combinatie van technologieën. De belangrijkste categorieën zijn *Life science and biotechnologies*, *Digital and information technologies* en *Engineering and fabrication technologies*. Omdat binnen het G&Z domein het samenspel van technologieën essentieel is, kunnen juist goede methodieken voor het toepassen van technologie het verschil maken⁶.

Life science and biotechnologies zijn van belang voor onder andere de ontwikkeling en productie van nieuwe therapieën, geneesmiddelen, diagnostiek. Zo kunnen zogeheten organoïden, in vitro gekweekte mini-organen, een belangrijke rol spelen in geneesmiddelenonderzoek. Door geneesmiddelen te testen in patiënt-specifieke organoïden kan de voorspellende waarde van effectiviteit worden vergroot. Voor de behandeling van kankerpatiënten kan dit grote impact hebben, omdat zij vaak behandelingen met ernstige bijwerkingen ondergaan waarvan pas achteraf blijkt of de behandeling al dan niet effectief was.

Digital and information technologies zijn belangrijke technologieën voor het (beter) organiseren van zorg. Door bijvoorbeeld het ontsluiten van gezondheidsdata en het toegankelijk maken van deze (actionable) data kan dit sneller en toegankelijker worden ingezet voor onderzoeksdoeleinden of het efficiënter maken van zorgprocessen. Ook kan door inzet van telemonitoring meer regie aan de patient worden gegeven: passende zorg en zorg 'zelf, thuis/dichtbij en/of digitaal als het kan'. Inzet van data science en AI kan daar een extra bijdrage aan leveren en de professionals ondersteunen. Ook zijn technologieën als AI en analyse tools weer nodig voor bijvoorbeeld de ontwikkeling van nieuwe therapieën. Belangrijk blijft dat alle voorwaarden voor passende inzet geborgd zijn, zoals cybersecurity. Want niet passende inzet kan ook grote nadelen en risico's met zich meebrengen.

Uit de categorie *Engineering and fabrication technologies* zijn met name sensoren en robotica relevant voor de ontwikkeling van toepassingen om mensen langer thuis te kunnen laten wonen en/of om zorgverleners/mantelzorgers te ontlasten in hun zorgtaken. Uit dezelfde categorie zijn imaging technologies relevant voor de medisch specialistische zorg bijvoorbeeld de ontwikkeling van theranostics (combinatie van diagnostiek en directe therapie/behandeling, maar ook voor het verplaatsen van zorg naar de eerste lijn.

Veiligheid

Belangrijke categorieën voor de missie Veiligheid zijn met name *Advanced materials*, *Quantum technologies*, *Digital and information technologies* en *Engineering and fabrication technologies*.

Advanced materials zijn van belang omdat nieuwe materialen het mogelijk maken om de bescherming van de militairen, voertuigen en constructies te verbeteren. Daarnaast leveren herbruikbare en lichtere (beschermings)materialen ook duurzaamheidsvoordelen en mindere belasting van de militair.

Quantum technologies zijn belangrijke technologieën vanuit veiligheidsoptiek. De rekenkracht van toekomstige quantum computers zal dusdanig groot zijn dat conventionele manieren van gegevensbeveiliging niet langer veilig zijn. Tegelijkertijd maakt het toepassen van quantum principes zoals verstrengeling op communicatiebeveiliging deze potentieel juist onhackbaar.

⁶ Hiervoor is een aparte Kennis- en Innovatieagenda ontwikkeld, de Key Enabling Methodologies (KEMs): [Key Enabling Methodologies \(KEMs\) for mission-driven innovation - KEM's for mission-driven innovation \(clicknl.nl\)](#)

Digital and information technologies zijn ook van belang, bijvoorbeeld doordat artificial intelligence beslisondersteuning bij onbemande voertuigen en vliegtuigen mogelijk maakt. Digital twinning is ondersteunend voor het creëren van situationeel overzicht en het plannen van interventies.

De combinatie van digital and information technologies met *engineering en fabrication technologies*, zoals robotics en sensor technologies, biedt kansen voor surveillance en beveiliging. Voor het bestrijden van misdaad en het beveiligen van de samenleving is een goede informatievoorziening van belang, waarbij sensing relevant is. Met sensors kan zowel vanuit land, lucht als vanuit de ruimte goed de omgeving worden gesurveilleerd en kunnen bedreigingen snel in kaart worden gebracht.

Het leggen van focus en prioriteit op deze categorieën betekent niet dat overige categorieën (bijvoorbeeld *Photonics and optical technologies* voor laser satellietcommunicatie) niet relevant zijn. Naar verwachting is in vrijwel alle categorieën technologie te vinden die voor de KIA Veiligheid van belang is.