

Juli 2023

Verkenning sleuteltechnologieën voor LNV



Achtergrondrapport



Juli 2023

Verkenning sleuteltechnologieën voor LNV

Achtergrondrapport

Chiel Scholten, Ivette Oomens, Erika van der Linden, Jules van de Meulengraaf, Christian Erven en Geert van der Veen

Inhoudsopgave

1	Introductie	1
1.1	Sleuteltechnologieën	1
1.2	De (huidige) missies van LNV	7
1.3	Leeswijzer	9
2	Fiche Digitale Technologieën	10
2.1	Beschrijving	10
2.2	Bijdrage aan opgaven van LNV	10
2.3	Relevante initiatieven en organisaties in Nederland	21
2.4	Kansen voor de opgaven van LNV	22
2.5	Bedreigingen voor de opgaven van LNV	23
2.6	Reflectie	23
3	Fiche Life Science Technologies	25
3.1	Beschrijving	25
3.2	Bijdrage aan opgaven van LNV	26
3.3	Relevante initiatieven en organisaties in Nederland	35
3.4	Kansen voor de opgaven van LNV	37
3.5	Bedreigingen voor de opgaven van LNV	37
3.6	Reflectie	38
4	Fiche Engineering and Fabrication Technologies	39
4.1	Beschrijving	39
4.2	Bijdrage aan opgaven van LNV	40
4.3	Relevante initiatieven en organisaties in Nederland	50
4.4	Kansen voor de opgaven van LNV	52
4.5	Bedreigingen voor de opgaven van LNV	52
4.6	Reflectie	53
5	Fiche Chemische Technologieën	54
5.1	Beschrijving	54
5.2	Bijdrage aan opgaven van LNV	55
5.3	Relevante initiatieven en organisaties in Nederland	64
5.4	Kansen voor de opgaven van LNV	66
5.5	Bedreigingen voor de opgaven van LNV	67
5.6	Reflectie	67
6	Fiche Photonics and Light Technologies	68
6.1	Beschrijving	68

6.2	Bijdrage aan opgaven van LNV	68
6.3	Relevante initiatieven en organisaties in Nederland	80
6.4	Kansen voor de opgaven van LNV	82
6.5	Bedreigingen voor de opgaven van LNV	82
6.6	Reflectie	83
7	Fiche Advanced Materials	84
7.1	Beschrijving	84
7.2	Bijdrage aan opgaven van LNV	85
7.3	Relevante initiatieven en organisaties in Nederland	92
7.4	Kansen voor de opgaven van LNV	93
7.5	Bedreigingen voor de opgaven van LNV	94
7.6	Reflectie	94
8	Fiche Nanotechnologie	96
8.1	Beschrijving	96
8.2	Bijdrage aan opgaven van LNV	97
8.3	Relevante initiatieven en organisaties in Nederland	108
8.4	Kansen voor de opgaven van LNV	109
8.5	Bedreigingen voor de opgaven van LNV	110
8.6	Reflectie	110
9	Fiche Quantum Technologies	112
9.1	Beschrijving	112
9.2	Bijdrage aan opgaven van LNV	113
9.3	Relevante initiatieven en organisaties in Nederland	119
9.4	Kansen voor de opgaven van LNV	120
9.5	Bedreigingen voor de opgaven van LNV	120
9.6	Reflectie	121
Bijlage A	Overzicht van veelgebruikte afkortingen	122

1 Introductie

Dit achtergrondrapport maakt onderdeel uit van een verkenning naar de mate waarin diverse sleuteltechnologieën kunnen bijdragen aan de missies van LNV. Voor elke sleuteltechnologie is een fiche uitgewerkt die is opgenomen in dit rapport. Over alle fiches heen is een analyse gemaakt die zich richt op onderzoeksvragen van de verkenning. De analyse, en de conclusies en aanbevelingen die op basis daarvan zijn opgesteld, zijn te vinden in het separate eindrapport van deze verkenning.

1.1 Sleuteltechnologieën

Sleuteltechnologieën zijn nieuwe technologieën die breed toepasbaar zijn. Door deze brede toepassing, maken ze nieuwe innovaties mogelijk in diverse sectoren. In Europees verband wordt er daarom ook wel gesproken van *key enabling technologies*. Sleuteltechnologieën hebben de potentie om via nieuwe goederen, diensten of processen de economie te versterken en oplossingen te bieden voor maatschappelijke uitdagingen. Door sleuteltechnologieën in te zetten voor de missies van LNV, kunnen zij mogelijk een bijdrage leveren aan de missies van LNV.

Binnen de huidige KIA ST worden acht sleuteltechnologieën onderscheiden:

- **Advanced Materials:** de productie van nieuwe materialen of nieuwe toepassingen van bestaande materialen om zo producten met verbeterde eigenschappen te realiseren.
- **Chemische Technologieën:** diverse technologieën die betrekking hebben op het op gang brengen, in stand houden, verbeteren en analyseren van chemische processen om zo nieuwe stoffen en producten te produceren.
- **Digitale Technologieën:** diverse technologieën die aan betrekking hebben op het verzamelen, veilig opslaan en delen, analyseren en bewerken van data.
- **Engineering and Fabrication Technologies:** diverse technologieën die gebruikt worden voor het ontwerpen en produceren van producten.
- **Life Science Technologies:** diverse technologieën die gebruikt worden in de levenswetenschappen voor het onderzoeken, bewerken en produceren van biologische reacties, stoffen, weefsels, cellen en moleculen.
- **Nanotechnologies:** diverse technologieën en toepassingen op nanometerschaal (10^{-9} m, de schaal van atomen en moleculen) waarop materialen vaak andere fysische en chemische eigenschappen hebben.
- **Photonics and Light Technologies:** diverse technologieën die gebruik maken van het opwekken, transporteren, manipuleren en detecteren van licht/fotonen voor beeldvorming, elektronica of energieproductie.
- **Quantum Technologies:** diverse technologieën en toepassingen waarbij gebruikt wordt gemaakt van de principes uit de kwantummechanica.

Voor elk van deze sleuteltechnologieën zijn weer een aantal subtechnologieën gedefinieerd: een sleuteltechnologie is dus in feite een cluster aan technologieën. Tabel 1 geeft hiervan een overzicht.

Tabel 1 Overzicht Sleuteltechnologieën

#	Sleuteltechnologie	Toelichting
1	Advanced Materials (AM)	
1.1	Biomaterialen en zachte materialen	Kunstmatige zachte materialen zoals biologische weefsels.
1.2	Composieten en keramiek	Composieten zijn materialen die zijn opgebouwd uit meerdere componenten, zoals vezelversterkende kunststoffen. Keramische materialen zijn vaste stoffen die zowel niet geleidend als niet-biologisch zijn – voorbeelden zijn glas of sommige halfgeleiders in computerchips.
1.3	Designer- en metamaterialen	Innovatieve materialen ontworpen met specifieke eigenschappen en functies die niet voor komen in natuurlijke materialen.
1.4	Energieconversiematerialen	Materialen die energie kunnen omzetten van de ene vorm in de andere. Dat gebeurt bijvoorbeeld in zonnecellen of LED's.
1.5	Materialen voor energieopslag	Materialen waarin energie kan worden opgeslagen, denk aan batterijen en materialen waarin waterstof kan worden opgeslagen (geen tank, maar bijv. in het kristalrooster of de structuur van het materiaal).
1.6	Optische, elektronische en magnetische materialen	Materialen met deze specifieke (functionele) eigenschappen, bijvoorbeeld tweedimensionale materialen zoals grafeen, germaneen (laag germaniumatomen) en staneen (laag tinatomen), die voornamelijk interessant zijn vanwege hun halfgeleidende en/of supergeleidende eigenschappen.
1.7	Slimme, zelfhelende en zelforganiserende materialen	Materialen die zo ontworpen zijn dat ze zichzelf op de gewenste manier kunnen organiseren of repareren.
1.8	Structurele materialen	Materialen die structurele integriteit combineren met één of bij voorkeur meer extra functies, zoals kunststoffen versterkt met vezels (zgn. composieten) waardoor ze sterker zijn dan normale kunststoffen.
1.9	Coatings en dunne films	Materialen die in dunne lagen op oppervlaktes kunnen worden aangebracht en er een functionaliteit aan toevoegen.
2	Chemische Technologieën (CT)	
2.1	(Bio)processtechnologie	Optimaliseren van (bio)chemische processen voor de productie van (grond)stoffen of producten. Hierbij gaat het vaak om productie op grotere schaal waarbij chemicaliën of (onderdelen van) levende cellen worden gebruikt.
2.2	Analytische technologieën	Metten en analyseren van chemische processen, cellulaire structuren, moleculaire processen etc. en de ontwikkeling van methoden en apparaten daarvoor.
2.3	(Bio)katalyse	Methoden om (bio-)chemische reacties te versnellen, vertragen of op gang te brengen. Dit kan nodig zijn om chemische processen te optimaliseren of op te schalen.
2.4	Elektrochemische processen (o.a. Elektrificatie, waterstoftechnologie en power-to-gas)	Conversie van energiedragers (w.o. waterstof) naar elektriciteit en omgekeerd. Power to gas refereert naar het benutten van (op het net onbenutte) elektriciteit voor de productie van gasen, zoals waterstof. Deze processen dienen voor het opslaan in en opwekken van energie uit vaste, vloeibare of gasvormige energiedragers (w.o. batterijen).

#	Sleuteltechnologie	Toelichting
2.5	Microreactoren	Kleine systemen voor het plaatsvinden van chemische reacties die qua grootte in een luciferdoosje passen. Microreactoren zijn vooral geschikt voor kleinschalige chemische processen die onder fluctuerende condities werken.
2.6	Scheidingstechnologie	Technologie voor het scheiden van (nuttige of juist ongewenste) stoffen, bijvoorbeeld d.m.v. destillatie, extractie, kristallisatie, filtratie of sorptiematerialen en membranen, zoals ion-scheidingsmembranen
3	Digitale Technologieën (DT)	
3.1	Kunstmatige Intelligentie (AI)	AI maakt gebruik van algoritmes en machines om menselijke aspecten van cognitieve functies zoals leren, begrijpen, redeneren en interactie kunstmatig uit te voeren of na te bootsen. Voorbeelden van cognitie en begrip zijn spraakherkenning en natuurlijke taalverwerking; voorbeelden van interactie zijn slimme/autonome besturing (op basis van data en sensoren) en signaaldetectie. Onderzoek binnen AI richt zich op optimale hardware en software combinaties, systemen voor <i>deep learning</i> (algoritmes en de toepassing daarvan) en samenwerking tussen mens en machine.
3.2	Big data en data analytics	Beschikbaarheid van gegevens neemt toe en er is een groeiende vraag naar technologieën die deze gegevens kunnen verzamelen, opslaan, beheren, analyseren en presenteren. Onderzoek en innovatie op dit gebied richt zich op het combineren en verwerken van heterogene, steeds complexere databronnen om daaruit (nieuwe) inzichten te verkrijgen.
3.3	Blockchain	Het digitale, gedistribueerd opslaan van transacties in een 'grootboek' dat voor meerdere deelnemers toegankelijk is in een peer-to-peer netwerk. Het bijhouden van deze informatie kan veilig gebeuren doordat nieuwe transacties met behulp van een digitale handtekening worden toegevoegd, en doordat gegevens gedecentraliseerd worden beheerd.
3.4	Encryptietechnologie	Computersystemen en netwerkinfrastructuur worden steeds belangrijker, en hebben dan ook de juiste beveiliging nodig. Encryptietechnologieën waarborgen een veilige overdracht van informatie.
3.5	High performance, grid en cloud computing	Toepassingen die gegevensopslag virtueel of in de <i>cloud</i> mogelijk maken, maar ook om toepassingen die grote rekenkracht (<i>supercomputing</i>) online of genetwerkt beschikbaar stellen voor berekeningen of toepassingen die op een gewone computer niet uit te voeren zijn.
4	Engineering and Fabrication Technologies (EFT)	
4.1	(Opto-)mechatronica	Integraal ontwerpen van een mechanisch systeem en het bijbehorende (elektronische) regelsysteem, zoals robotgestuurde producten en machines. Optomechatronica is het toepassen van optische technologieën in mechatronica.
4.2	Additive manufacturing	Maken van producten door het laag-voor-laag computergestuurd aanbrengen van materialen zoals kunststoffen, metalen of beton. Het bekendste voorbeeld van additive manufacturing is 3D-printen. Additive manufacturing wordt vaak gebruikt in de context van het snel printen van complexe mechanische onderdelen.
4.3	Cyberfysische systemen	Systemen die informatieprocessen en fysische processen integreren. Hieronder vallen ook embedded systems: systemen waarbij (slimme) elektronica is geïntegreerd in een apparaat,

#	Sleuteltechnologie	Toelichting
		machine of gebruiksvoorwerp. Communicatie in cyberfysieke systemen loopt via het internet. Voorbeelden van cyberfysieke systemen zijn apparaten binnen het internet-der-dingen (IoT, onderling verbonden en communicerende slimme apparaten/machines) en slimme/autonome robots – robots die op basis van data en sensoren handelingen uitvoeren (geen direct voorgeprogrammeerde instructies).
4.4	Hoge frequentie en mixed signal technologieën	Communiceren op basis van een mix van (<i>high-frequency</i>) technologieën zoals radio, radar, 5G, wifi en GPS. Hierbij gaat het om methoden voor het produceren en verwerken van signalen.
4.5	Beeldvormende technologieën	Technologieën om beelden te maken, te bewaren, te verwerken, te verbeteren, te analyseren of te dupliceren
4.6	Robotica	Hier komen elementen van (opto-)mechatronica, elektronica en computersystemen samen in robots: machines die menselijke acties kunnen overnemen. Dit kunnen voorgeprogrammeerde robots zijn of autonome robots, zoals cyberfysieke systemen. Robots kunnen verschillende vormen en toepassingen hebben, voorbeelden zijn robotarmen voor fabricage en autonome voertuigen voor distributie.
4.7	Sensoren en actuatoren	Sensoren meten bepaalde grootheden, zoals temperatuur en druk. De informatie uit sensoren wordt doorgaans elektronisch verwerkt en gebruikt om acties uit te voeren. Dat laatste doen actuatoren die een beweging uitvoeren op basis van een elektrisch signaal. Een actuator is dus in feite het tegenovergestelde van een sensor. Robots maken gebruik van sensoren en actuatoren om acties uit te voeren.
5	Life Science Technologies (LST)	
5.1	Biokatalyse	Draait om het laten verlopen of versnellen van (bio)chemische reacties d.m.v. organische katalysatoren in levende organismen. Vaak gebeurt dit met behulp van enzymen.
5.2	Biochips en biosensoren	Miniatuurlaboratoria op een chip die gebruik maken van receptoren of andere biologische moleculen voor de detectie van cellen of moleculen.
5.3	Biofabricatie	Produceren van complexe biologische producten op basis van biomaterialen zoals levende cellen, weefsels en moleculen.
5.4	Gene editing/ Precise Genetic Engineering	Het (met hoge precisie) modificeren van genen (bijv. CRISPR-CAS) voor de ontwikkeling van medicijnen of de veredeling van gewassen.
5.5	Genomics	Het analyseren van genomen (het geheel van genen van een organisme); Proteomics: het complex van eiwitten; Metabolomics; metabolisme (stofwisseling) Glycomics: glycomes (koolhydraten in cellen) X-omics: noemer waaronder verschillende -omics disciplines worden gevangen
5.6	Industriële biotechnologie	Biochemisch produceren van producten als aminozuren, antibiotica, biochemische bouwstenen, bioplastics, vitaminen etc.
5.7	Nanomedicijnen	Het gebruiken van nanotechnologie om zowel medicijnen te creëren als om deze op de juiste plaats te krijgen.
5.8	Organ-on-a-chip	Chips die functies van levende menselijke cellen of organen kunnen simuleren.

#	Sleuteltechnologie	Toelichting
5.9	Stamceltechnologie	Stamcellen zijn cellen die zich kunnen ontwikkelen tot andere typen cellen. Deze technologie is erop gericht om stamcellen verder te laten ontwikkelen tot cellen die defecte cellen, weefsels of organen kunnen vervangen.
5.10	Synthetische celtechnologie	Maken van kunstmatige cellen, opgebouwd vanuit de verschillende onderdelen van een cel, voor beter begrip van de werking van de cel en voor het produceren van bruikbare stoffen
6	Nanotechnologie (NT)	
6.1	Bionanotechnologie	Biotechnologie op nanoschaal, bijvoorbeeld voor het ontwerpen van nanomedicijnen. Onderzoek richt zich bijvoorbeeld op hoe (functionele) nanosystemen het gedrag van tumoren kunnen beïnvloeden, door de micro-omgeving van tumoren te herprogrammeren.
6.2	Micro- en nanofluidica	Gedrag van vloeistoffen op micro- en nanoschaal is anders dan we gewend zijn. Door hiervan gebruik te maken in kleine vloeistofkanalen op (glazen) chips, kunnen bijvoorbeeld specifieke moleculen gescheiden of geanalyseerd worden. Dat maakt het mogelijk om uiteindelijk een lab op een chip te maken waarin bijv. biomoleculen, zoals DNA, kunnen worden getest. Ook kunnen chips zoals transistoren op basis van ionen worden gemaakt of instelbare lenzen.
6.3	Nanomanufacturing	Produceren op nanoschaal. Een bekend voorbeeld hiervan zijn chips en het etsen van kanalen op de chip met behulp van lithografie- of lasertechnologie ¹ . Dit biedt mogelijkheden om op atoomniveau de juiste compositie en structuur van materialen te realiseren, zodat je bijvoorbeeld snellere processoren kunt maken of meer opslagcapaciteit op een geheugenchip kunt realiseren.
6.4	Nanomaterialen	Nanomaterialen hebben één of meer dimensies (1D, 2D, 3D) met een bereik van 1 nm tot 100 nm, waardoor de materialen een relatief hoge oppervlakte-tot-volume verhouding hebben. Dat kunnen dus nanodraden zijn (1D), nanolaagjes of nanofilms (2D), of nanodeeltjes (3D) zijn. Dat heeft als gevolg dat de materialen fysische of chemische eigenschappen hebben die de materialen in grotere afmetingen niet zouden hebben. Daarvan wordt gebruik gemaakt voor enzymen, verf/coatings, filters, zonnebrandcrème of sensoren.
6.5	Nanodevices	Het gebruik maken van nanomaterialen of -technieken in apparaten. Hierbij worden de eigenschappen van nanomaterialen benut. Chips voor elektronica, displays (bijv. LED's) en zonnecellen maken veelal gebruik van halfgeleiders (semiconductors). Hiervoor wordt steeds meer nanotechnologie toegepast om de chips te structureren of op te bouwen uit dunne laagjes materiaal.
6.6	Halfgeleiderapparaten (semiconductor)	
7	Photonics and Light Technologies (PLT)	
7.1	Imaging technologie	Verbeteren van de beeldkwaliteit en betaalbaarheid van beeldvormingstechnieken en het ontwikkelen van betere medische apparatuur voor minimale invasieve behandelingen.

¹ TNO. (2018). De potentiële bijdrage van technologie aan maatschappelijke uitdagingen.

#	Sleuteltechnologie	Toelichting
7.2	Geïntegreerde fotonica	Optimaliseren van datatransport via lichtdeeltjes (fotonen), de verdere ontwikkeling van optische sensoren en fotonische circuits voor computers en andere apparatuur.
7.3	Fotongeneratie- en detectietechnologie	Technologie voor het genereren, geleiden en detecteren van fotonen voor gebruik in o.a. kwantumcommunicatie.
7.4	Photonic/electronic co-integration	Het combineren en uitwisselen van informatie tussen elektronica en fotonica in chips en geïntegreerde circuits.
7.5	Photovoltaics	Ontwikkelen van nieuwe soorten en verbeterde zonnecellen met een hoger rendement.
8	Quantum Technologies (QT)	
8.1	Kwantumcomputer	Deze technologie is gebaseerd op kwantumbits (een eenheid van digitale informatie). In tegenstelling tot bits in onze huidige computer (die 1 of 0 kunnen zijn), zijn kwantumbits verstrengeld en kunnen dus tegelijkertijd 0 en 1 zijn (en allerlei toestanden daar tussenin). Dat betekent dat een kwantumcomputer parallel duizenden berekeningen kan uitvoeren: dat maakt de kwantumcomputer vele malen sneller dan huidige computers. Er zijn twee verschillende kwantumcomputers: er is de <i>dedicated</i> kwantumcomputer, die 50 tot 2000 kwantumbits heeft en is gemaakt om één specifiek optimalisatievraagstuk op te lossen. Dit soort kwantumcomputers bestaat al. Daarnaast is er de algemene kwantumcomputer, die miljoenen kwantumbits heeft en allerlei typen vraagstukken kan oplossen – min of meer zoals een gewone computer. Dit type computer zal waarschijnlijk over 20 tot 30 jaar op de markt verschijnen.
8.2	Kwantumcommunicatie en -encryptie	Toepassen van het kwantumprincipe verstrengeling op communicatie. Hierdoor kunnen individuele fotonen op verschillende plaatsen in een netwerk met elkaar verstrengeld worden en kan kwantuminformatie worden verstuurd. Wat deze technologie zo aantrekkelijk maakt, is dat af luisteren automatisch wordt ontdekt (vanwege de verstrengeling), waardoor deze communicatie extreem veilig is.
8.3	Kwantumsensoren en -metrologie	Hierbij wordt gebruik gemaakt van kwantumeigenschappen op sensoren en metrologie (studie van meetmethoden). Hierbij wordt kwantummechanica benut als raamwerk om meeteenheden te definiëren, waardoor heel nauwkeurig gemeten kan worden.

Gebaseerd op Technopolis Group (2021). *Fiches Relevante sleuteltechnologieën voor IenW*, het overzicht van sleuteltechnologieën van NWO² en Bijlage A van de KIA Sleuteltechnologieën.

² Zie: <https://www.nwo.nl/sleuteltechnologieen>

1.2 De (huidige) missies van LNV

De missies van LNV zijn grotendeels ondergebracht in de KIA LWV. Deze KIA kent zes missies (A t/m F), waarvan missie F niet op het terrein van het ministerie van LNV ligt. Deze laatste missie laten we in het kader van deze studie dan ook buiten beschouwing. De vijf missies van LNV binnen de KIA LWV richten zich eigenlijk allemaal op een soort systeemtransitie:

- **Missie A – Kringlooplandbouw:** deze missie richt zich op kennis en innovatie om de transitie naar kringlooplandbouw te realiseren. In deze missie heeft men als doel om in 2030 substantieel minder grond- en hulpstoffen te gebruiken in de land- en tuinbouwsector. De waarde uit reststromen wordt zo veel mogelijk benut en de uitstoot van vervuilende of vermistende stoffen is verminderd. Er wordt gebruik gemaakt van robuuste rassen en teeltsystemen, ecologische processen en er is een groter aanbod van niet-dierlijke eiwitten.
- **Missie B – Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie:** deze missie richt zich op kennis en innovatie om de transitie naar klimaatneutrale landbouw en voedselproductie mogelijk te maken. In deze missie heeft men als doel om in 2050 klimaatneutraal te zijn in de land- en tuinbouwsector. De uitstoot van broeikasgassen is flink verlaagd en gecompenseerd door extra CO₂-vastlegging in de bodem en de natuur. De sector zelf levert duurzame energie en maakt geen gebruik meer van fossiele grondstoffen.
- **Missie C – Klimaatbestendig landelijk en stedelijk gebied:** deze missie richt zich op kennis en innovatie om het landelijk en stedelijk gebied klimaatbestendiger te maken. In deze missie heeft men als doel om in 2050 klimaatbestendig en waterrobuust ingerichte gebieden te realiseren. Land- en tuinbouwsystemen kunnen dan beter omgaan met klimaatverandering en het beheer van grond- en oppervlaktewater draagt bij aan de klimaatbestendigheid van de sector zonder schade toe te brengen aan de natuur.
- **Missie D – Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel:** deze missie richt zich op kennis en innovatie rondom voedsel. In deze missie heeft men als doel om in 2030 gezond, veilig en duurzaam voedsel te produceren. Daarbij werkt men aan een robuust voedselproductiesysteem en meer duurzame producten die goed zijn voor de omgeving. Hierdoor waarderen consumenten de sector en zijn zij bereid een eerlijke prijs te betalen.
- **Missie E – Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren:** deze missie richt zich op kennis en innovatie rondom het duurzaam en veilig gebruik van zeeën, oceanen en wateren. In deze missie heeft men als doel om in 2030 de ecologische draagkracht en economische activiteiten op de Nederlandse wateren in balans te hebben. Dat betekent dat de winning van duurzame energie, voedsel, visserij ect. de ecologie, waterveiligheid en -kwaliteit, en de zoetwatervoorziening niet in gevaar mag brengen.

Onder elke missie vallen specifieke doelen die vormgegeven zijn in de vorm van Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's (MMIP's). LNV heeft ook een aantal eigen MMIP's met doelen die niet onder een van de huidige missies van KIA LWV vallen.³ Een overzicht van deze doelen is per missie weergegeven in Tabel 2.

³ Dit zijn de MMIP's LNV1 t/m LNV4 in Tabel 2.

Tabel 2 De missies van LNV en bijbehorende doelen per MMIP's

MMIP	Doel	Prioriteit
Missie A: Kringlooplandbouw		
A1	Verminderen fossiele nutriënten en emissies naar bodem, water en lucht	Hoog
A2	Ontwikkeling van robuuste teeltsystemen op een gezonde bodem en substraat op basis van agro-ecologische principes	Hoog
A3	Optimalisering van het hergebruik van zij- en reststromen	Hoog
A4	Ontwikkeling van nieuwe plantaardige eiwitbronnen binnen Europa voor voedsel en diervoeders	Hoog
A5	Inzicht in hoe biodiversiteit kan worden hersteld en benut in de kringlooplandbouw	Hoog
Missie B: Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie		
B1	Reductie van de uitstoot van methaan in de veehouderij	Hoog
B2	Vermindering van de uitstoot van lachgas bij de bemesting van landbouwbodems en bij de vollegrondsteelt	Hoog
B3	Vermindering van oxidatie in de veenweidegebieden	Hoog
B4	Verhoging vastlegging van koolstof in landbouwbodems, bij vollegrondsteelt, in bos en natuur	Hoog
B5	Vermindering van energieverbruik in glastuinbouw	Hoog
B6	Toename productie en gebruik van biomassa (biograndstoffen)	Hoog
Missie C: Klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied		
C1	Voorkomen van wateroverlast en watertekort in landelijk (en stedelijk) gebied	Hoog
C2	Ontwikkeling van klimaatbestendige land- en tuinbouwproductiesystemen	Hoog
C3	Inrichting van een klimaatbestendige gebouwde omgeving	Laag
C4	Verbeteren van de waterkwaliteit	Hoog
Missie D: Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel		
D1	Versterken maatschappelijke waardencreatie en adequaat verdienvermogen voor de primaire producten in Nederland	Laag
D2	Stimuleren van het produceren en consumeren van gezond en duurzaam voedsel	Hoog
D3	Ontwikkelen van veilige, duurzame productiesystemen zonder risico's voor de omgeving	Hoog
D4	Ontwikkelen van een substantieel duurzamer en veiliger voedselketen	Hoog
Missie E: Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren		
E1	Balans tussen economische activiteiten op zee, zoals de opwekking van hernieuwbare energie en de productie van voedsel en de ruimtelijke en ecologische draagkracht van de Noordzee	Hoog
E2	In balans brengen van visserij, landbouw, toerisme en waterbeheer met de natuur in de Nederlandse Cariben	Laag
E3	Evenwichtig, optimaal en gebiedsgericht beheer en gebruik van rivieren, meren en intergetijdengebieden in Nederland	Laag

E4	In stand houden en duurzaam gebruik maken van oceanen, zeeën en mariene hulpbronnen voor duurzame ontwikkeling	Laag
E5	Ontwikkeling van een duurzame kust- en zeevisserij op de Noordzee	Hoog
Overige missies van LNV		
LVN1	Een einde aan honger en ondervoeding en toegang tot voldoende en gezond voedsel voor iedereen (internationaal)	Laag
LVN2	Verhogen Brede Maatschappelijke Welvaart in het landelijk gebied	Hoog
LVN3	Doelen van de Vogel- en Habitatrichtlijn in Nederland zijn bereikt en de Nederlandse ecologische voetafdruk is gehalveerd	Hoog
LVN4	Gezelschapsdieren en dieren voor vermaak zijn fysiek en mentaal gezond	Hoog
Sleuteltechnologieprogramma's van LNV		
ST1	Slimme technologie toepasbaar maken voor de KIA-Landbouw, Water, Voedsel	Medium
ST2	Sleuteltechnologie voor snelle, efficiënte en nauwkeurige veredeling van plant en dier en modificatie van (micro-)organismen	Medium

NB: De prioritering voor deze verkenning is aangegeven door de opdrachtgever.

1.3 Leeswijzer

Na deze introductie vervolgt het rapport met een fiche per sleuteltechnologie. Daarin gaan we in op de bijdrage van de technologie aan de missies van het ministerie van LNV zoals hierboven benoemd. We leggen uit wat de sleuteltechnologie omhelst en welke toepassingen we gevonden hebben die relevant zijn voor de missies. We gaan in op de kansen en de bedreigingen van de technologie en op relevante initiatieven en organisaties op het gebied van deze technologie en missies.

Voor de analyse, conclusies en aanbevelingen van deze verkenning, verwijzen we naar het separate eindrapport van deze verkenning.

2 Fiche Digitale Technologieën

2.1 Beschrijving

Digitale technologieën (DT's) is een verzamelnaam voor een groot aantal technologieën die aan de basis (zullen) liggen van huidige en toekomstige digitale systemen. DT's hebben als sleuteltechnologie overlap met de andere sleuteltechnologieën, met name Quantum Technologies en Engineering and Fabrication Technologies.

De belangrijkste technologieën die onder de paraplu van DT's vallen volgens het raamwerk van de KIA Sleuteltechnologieën, zijn:

- **Kunstmatige Intelligentie (AI):** AI maakt gebruik van algoritmes en machines om menselijke aspecten van cognitieve functies zoals leren, begrijpen, redeneren en interactie kunstmatig uit te voeren of na te bootsen. Voorbeelden van cognitie en begrip zijn spraakherkenning en natuurlijke taalverwerking; voorbeelden van interactie zijn slimme/autonome besturing (op basis van data en sensoren) en signaaldetectie. Onderzoek binnen AI richt zich op optimale hardware en software combinaties, systemen voor *deep learning* (algoritmes en de toepassing daarvan) en samenwerking tussen mens en machine⁴. Deze technologie is nog volop in ontwikkeling en wordt zowel onderzocht als toegepast.
- **Big data en analytics:** De beschikbaarheid van gegevens neemt toe en er is een groeiende vraag naar technologieën die deze gegevens kunnen verzamelen, opslaan, beheren, analyseren en presenteren. Onderzoek en innovatie op dit gebied richt zich op het combineren en verwerken van heterogene, steeds complexere databronnen om daaruit (nieuwe) inzichten te verkrijgen⁵.
- **Blockchain:** omvat het digitale, gedistribueerd opslaan van transacties in een 'grootboek' dat voor meerdere deelnemers toegankelijk is in een *peer-to-peer* netwerk. Het bijhouden van deze informatie kan veilig gebeuren doordat nieuwe transacties met behulp van een digitale handtekening worden toegevoegd, en doordat gegevens gedecentraliseerd worden beheerd.⁶
- **Encryptie technologieën/digitale veiligheid:** Computersystemen en netwerkinfrastructuur worden steeds belangrijker en moeten daarom goed beveiligd zijn. Encryptie-technologieën waarborgen een veilige overdracht van informatie.
- **High performance, grid, cloud computing:** Het gaat hierbij om toepassingen die gegevensopslag virtueel of in de *cloud* mogelijk maken, maar ook om toepassingen die grote rekenkracht (*supercomputing*) online of genetwerkt beschikbaar stellen voor berekeningen of toepassingen die op een gewone computer niet uit te voeren zijn. Onderzoek richt zich op hardware/software co-design.

2.2 Bijdrage aan opgaven van LNV

Digitale technologieën zijn breed toepasbaar, kunnen zeer disruptief werken en onvoorspelbaar zijn. Momenteel worden er DT's ontwikkeld voor toepassingen die een bijdrage kunnen leveren aan met name kringlooplandbouw en klimaatneutrale landbouw en voedselproductie. Bijdrages van deze technologieën aan het realiseren van een duurzame en

⁴ KIA ST Bijlage A Kennis- en innovatievragen

⁵ Ibid.

⁶ Ibid.

veilige Noordzee en de overige missies van LNV zijn wel mogelijk, maar hebben we minder kunnen vinden. Tabel 31 geeft een overzicht van de mate waarin Digitale technologieën bijdragen aan de opgaven van LNV. In de volgende paragrafen gaan we nader in op de bijdrage van deze sleuteltechnologie aan deze opgaven.

Tabel 31 Mate waarin de sleuteltechnologie een bijdrage kan leveren aan opgaven van LNV

Opgave LNV	← kleine bijdrage grote bijdrage →				
Kringlooplandbouw					
Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie					
Klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied					
Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel					
Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren)					
Overige missies van LNV					

Beoordeling Technopolis Group

Een belangrijke opmerking is dat DT's ook essentieel zijn in geavanceerde systemen die met behulp van sensoren (in real-time) beslissingen kunnen maken. KIA ST1 Smart Technologies in Agri-Horti-Water-Food richt zich op deze systemen. Deze systemen brengen robots, sensoren en digitale technologieën bij elkaar. In het gros van de PPS-projecten van KIA ST1 zorgen DT's voor beslissingsondersteunende instrumenten, geautomatiseerde besluitvorming, detectiemethodes en voorspellingsmodellen. Deze systemen kunnen gebruikt worden in vrijwel alle domeinen waaronder landbouw, primaire productie, glastuinbouw en industriële (voedselverwerking) processen. Ook worden dergelijke DT's bij deze projecten vaak gebruikt om de technologie, data en praktijk dichterbij elkaar te brengen.

2.2.1 Missie A: Kringlooplandbouw

Digitale technologieën dragen bij aan de realisatie van de kringlooplandbouw. De potentie ligt vooral in het verzamelen van meer data en deze (automatisch) verwerken door meer geavanceerde modellen. Er is steeds meer uitgebreide gegevensverzameling mogelijk over de staat van de bodem, planten en dieren. Deze gegevens, en het kunnen toepassen van steeds complexere modellen hierop, maken het mogelijk om meer circulaire managementsystemen in te zetten, doordat de hoeveelheden water, licht, pesticiden en kunstmest preciezer kunnen worden bepaald en daarmee worden verminderd. Onderstaande lijst geeft een aantal voorbeelden van toepassingen.

- **Digitalisering van landbouw tot autonoom telen (TRL: middel):** De landbouw zou in theorie volledig autonoom kunnen worden gemaakt. Er zijn een aantal niveaus in het autonoom maken van de landbouw: 1) het installeren en connecteren van monitorings-systemen in de landbouw; 2) de data uit deze systemen begrijpelijk en eenduidig naar de gebruiker communiceren; 3) een digital twin van de teelt die analyseert wat er gebeurt en voorspelt wat de beste acties zijn om te nemen; 4) digital twins laten samenwerken om automatisch beslissingen te maken ook bij veranderende omstandigheden. Sommige van de andere technologieën die in dit fiche worden genoemd zijn gerelateerd aan, of vallen onder de technieken die nodig zijn voor autonome teelt.
- **AI-mentorschapssoftware (TRL: hoog):** Deze AI-technologie houdt rekening met iemands sociale en leercontext en helpt gepersonaliseerde leerplannen te maken. Boeren kunnen van deze software gebruikmaken om te leren hoe ze gewassen beter kunnen roteren om

uitstoot te verminderen en circulair te kunnen delen. Nieuwe landbouwmethoden, die cruciaal zijn voor de productie van meer nieuwe eiwithoudende gewassen en een meer circulaire landbouw, kunnen complex en tijdrovend zijn om aan te leren. Deze software kan hierbij helpen. Risico's zijn echter, zoals bij veel AI-technologieën, dat de inputgegevens de software bevooroordeeld maken, of dat de software competitief leren bevordert in plaats van samenwerkend leren⁷.

- **Geautomatiseerde landbouwsystemen zoals de Algen fotobioreactor (TRL: hoog):** Landbouwsystemen kunnen geautomatiseerd worden naar een systeem waarin de input zoals licht, water en voedingsstoffen voor planten automatisch worden geregeld. De algen fotobioreactor is hier een goed voorbeeld van: dit is een gesloten systeem, waarin LED -verlichting de algengroei kunnen maximaliseren, zonder afhankelijk te zijn van het weer. Aangezien het systeem gesloten is, en de inputs gefilterd worden, kunnen ziektes en de introductie van gevaarlijke stoffen in het algensysteem voorkomen worden⁸.
- **Draadloze bodemsensor (TRL: hoog):** Sensoren kunnen gedetailleerde bodemkwaliteitsgegevens leveren, waaronder bodemvocht, zoutgehalte en gehalte aan voedingsstoffen, zoals stikstof, fosfor en kalium. De sensoren kunnen ook beluchting, ademhaling, luchttemperatuur, licht en vochtigheid rapporteren. Ze zijn hiermee een goed voorbeeld van een *Internet of Things (IoT)* toepassing. De sensoren kunnen draadloos worden aangesloten en de data real-time visualiseren voor de boer. Dit biedt ondersteuning bij het maken van beslissingen over irrigatie, pesticidegebruik en andere zaken of automatiseert deze beslissingen⁹.
- **Blockchain koolstofkrediet (TRL: middel):** Koolstofkredieten kunnen in de blockchain worden vastgelegd. Men kan koolstofkredieten aan blockchain tokens koppelen in de landbouwsector. Wanneer dat gebeurt, kunnen deze kredieten een economische prikkel creëren om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen¹⁰.
- **Dataverzameling en automatische beslissingen door robots (TRL: middel/hoog):** Robots die data verzamelen en real-time beslissingen maken op basis van deze data kunnen pesticide- en kunstmestgebruik verminderen. Een voorbeeld is de 'weed robot', een landbouwmachine die zelfstandig over de akker rijdt en data verzamelt over de aanwezigheid van ziektes bij planten. Wanneer een ziekte wordt waargenomen, wordt er berekend hoeveel pesticide er precies op deze plant moet worden aangebracht, waarna de instellingen van de spuitmonden van de weed robot daarop automatisch worden aangepast¹¹. 5G-internet maakt deze vergaande digitalisering goedkoper doordat het

⁷ Klamma, R. (2020). Scaling mentoring support with distributed artificial intelligence. *International conference on intelligent tutoring systems*. Doi:10.1007/978-3-030-49663-0_6

⁸ Wasanasathian, A. & Peng, C.A. (2007). Algal photobioreactor for production of lutein and zeaxanthin: In: Yang, S.T. *Bioprocessing for value-added products from renewable resources*, 491-505. <https://doi.org/10.1016/B978-044452114-9/50020-7>

⁹ Navulur, S., Sastry, A. S. C. S., Giri Prasad, M. N. (2017). Agricultural Management through Wireless Sensors and Internet of Things. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 7(6), 3492-3499. <http://doi.org/10.11591/ijece.v7i6.pp3492-3499>; Vera, J., et al. (2021). Towards irrigation automation based on dielectric soil sensors. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 96(6), 696-707. <https://doi.org/10.1080/14620316.2021.1906761>

¹⁰ Holger, D. (2022). Cryptocurrency traders move into carbon markets. <https://www-wsj-com.ru.idm.oclc.org/articles/cryptocurrency-traders-move-into-carbon-markets-11641826402>

¹¹ KPN. (2019). Precisielandbouw: voorbeelden van IoT-oplossingen in de akkerbouw. <https://www.kpn.com/zakelijk/blog/precisielandbouw-voorbeelden-van-iot-oplossingen-in-de-akkerbouw.htm>

makkelijker wordt om massaal apparaten te verbinden met het netwerk¹². Het PPS-project The Next Fruit 4.0 is ook een voorbeeld van een project waarbij onderzocht wordt hoe precisie spuittechnologie door sensors, robots en AI-tools beter toegepast kan worden in de fruitteelt.¹³

- **Hybrid AI (TRL: middel/hoog):** Bij hybrid AI ligt de nadruk op de interactie tussen de gebruiker en de AI. Door deze interactie kan de gebruiker kennis aan de AI geven, zodat de AI zo goed mogelijk kan gaan leren om bijv. kassystemen aan te sturen.
- **Beslissingsondersteunende, detecterende en voorspellende AI-tools (TRL: middel/hoog):** AI-modellen die bijvoorbeeld gewaseigenschappen en kwaliteitsinformatie kunnen verwerken die sensoren meten. De AI-modellen kunnen vervolgens geautomatiseerd beslissingen maken om zo efficiënt mogelijk een optimaal product te produceren en verwerken (Missie D). Zo is het PPS-project ALL-INFORMED hier een voorbeeld van waarbij AI wordt ingezet voor het optimaliseren van het productieproces van plantaardige producten.¹⁴ Andere voorbeelden van soortgelijke PPS-projecten zijn te vinden in de glastuinbouw^{15,16}, het emissieloos maken van toedieningstechnieken voor gewasbeschermingsmiddelen¹⁷ en in de aardappelteelt.¹⁸

Digitale technologieën dragen vooral bij aan kringlooplanbouw door met meer data en uitgebreidere modellen de benodigde input voor landbouw te minimaliseren. De toepassingen van de technologieën sluiten het meeste aan bij MMIP A1 Verminderen van fossiele nutriënten en emissies naar bodem, water en lucht. Ze dragen ook bij aan A3 en A4, voornamelijk door het optimaliseren van processen zodat er meer zij- en reststromen kunnen worden hergebruikt.

Tabel 4 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Kunstmatige intelligentie	Big data & analytics	Blockchain	Encryptie technologieën	High performance, grid, cloud computing
A1	Verminderen fossiele nutriënten en emissies naar bodem, water en lucht					
A2	Ontwikkeling van robuuste teeltsystemen op een gezonde bodem en substraat op basis van agro-ecologische principes					

¹² KPN (2020). Ook in veiligheid is 5G een volgende stap. <https://www.kpn.com/zakelijk/blog/ook-in-veiligheid-is-5g-een-volgende-stap.htm>

¹³ <https://projecten.landbouwwatervoedsel.nl/project/the-next-fruit-4-0/>

¹⁴ <https://projecten.landbouwwatervoedsel.nl/project/all-informed-artificial-intelligence-in-innovations-for-fermented-foods/>

¹⁵ <https://projecten.landbouwwatervoedsel.nl/project/agros-horticulture/>

¹⁶ <https://projecten.landbouwwatervoedsel.nl/project/deep-learning-based-modelling-of-changing-agri-food-characteristics/>

¹⁷ <https://projecten.landbouwwatervoedsel.nl/project/innovatieve-emissieloze-toedieningstechnieken-4-0/>

¹⁸ <https://projecten.landbouwwatervoedsel.nl/project/transition-to-a-data-driven-agriculture-ttadda-for-a-new-dutch-japanese-potato-circular-value-chain/>

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Kunstmatige intelligentie	Big data & analytics	Blockchain	Encryptie technologieën	High performance, grid, cloud computing
A3	Optimalisering van het hergebruik van zij- en reststromen					
A4	Ontwikkeling van nieuwe plantaardige eiwitbronnen binnen Europa voor voedsel en diervoeders					
A5	Inzicht in hoe biodiversiteit kan worden hersteld en benut in de kringlooplandbouw					

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

2.2.2 Missie B: Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie

Digitale technologieën spelen nu al een belangrijke rol in *Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie*, en de verwachting is dat die rol in de toekomst nog groter zal worden. De grootste potentie zit in het inzetten van data-analysetechnieken om de landbouw en voedselproductie efficiënter te maken en daardoor minder energie te verbruiken.

- **Precisielandbouw (TRL: middel-hoog):** Precisielandbouw kan bijdragen aan het verminderen van negatieve gevolgen van landbouw, door met meer precisie kunstmest, gewasbeschermingsmiddelen, zaden en chemicaliën aan te brengen dan nu bij bepaalde vormen van landbouw gebeurt¹⁹. Dit gebeurt door data uit sensoren (IoT), data-analyse modellen en geautomatiseerde robots in te zetten om per plant, per dier of per vierkante meter bodem precies te bepalen wat er nodig is voor een optimale oogst of output. Precisielandbouw is meer een overkoepelende term: veel van de andere genoemde technologieën in dit fiche kunnen ook onder precisielandbouw worden geschaard.
- **AI crop analytics tool (TRL: middel-hoog):** Machine learning en data-analyse tools kunnen worden ontworpen om ziekten en plagen in gewassen in een vroeg stadium te diagnosticeren. Dit kan de output van planten sterk verbeteren, doordat er minder planten ziek worden en minder of geen output meer leveren²⁰. Een voorbeeld van een technologie is Volatile Organic Compounds, wat gasanalyse gebruikt voor detectie van bijv. ziektes.
- **In Silico Farming (digital twins) (TRL: middel):** Dit zijn wiskundige modellen, die gebaseerd zijn op de gegevens van echte gewassen, en ontworpen zijn om te simuleren hoe de opbrengsten onder verschillende omstandigheden zullen presteren. Het helpt boeren om gewassen te beheren en te optimaliseren en hun werkwijze aan te passen aan de klimaatverandering. Een uitdaging bij deze technologie is dat gebruikers goede kennis van IT moeten hebben om het te kunnen gebruiken²¹.

¹⁹ Bongiovanni, R. & Lowenberg-Deboer, J. (2004). Precision Agriculture and Sustainability, *Precision Agriculture*, 5, 359-387. <https://doi.org/10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aq>; Akhter, R. & Sofi, S. A. (2022). Precision agriculture using IoT data analytics and machine learning. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 34(8), 5602-5618. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.05.013>

²⁰ Alliance 4 AI (2022). An AI app that's helping small-holder farmers reduce losses in Ghana. <https://www.alliance4ai.org/story/an-ai-app-thats-helping-small-holder-farmers-reduce-losses-in-ghana/>

²¹ Smalley, E. (2018). In silico farming drives next wave in agriculture. *Nature Biotechnology*, 36, 783-784. <https://doi.org/10.1038/nbt0918-783a>

- **Modellen voor kasontwerp en kassimulatie (TRL: hoog):** In de glastuinbouw zijn vele modellen in gebruik, zoals constructieve modellen die kassen ontwerpen, en modellen waarmee de input en output voor de kas worden gestimuleerd in verschillende omgevingen. Deze modellen dragen bij aan de efficiëntie van de glastuinbouw. Een uitdaging bij deze modellen is dat de sensoren en de modellen nog dezelfde digitale taal moeten spreken om tot een geïntegreerd systeem te komen.
- **Dataverzameling door sensoren zoals drones voor landbouw en veeteelt (TRL: middel-hoog):** Sensoren helpen met allerlei soorten dataverzameling voor de landbouw en de veeteelt. Drones kunnen helpen in de landbouw door planten vanuit de lucht te monitoren. Zo kunnen drones bijvoorbeeld met multispectrale camera's data verzamelen over aardappelplanten om per vierkante meter de juiste behandeling met bestrijdingsmiddelen te bepalen voor een optimale oogst²². Stressdetectie d.m.v. het elektropotentieel meten in planten is een opkomende technologie, in een nog lager TRL-niveau.
- **Slimme na-oogst/na-vangst verwerking voor kwaliteitsbehoud (TRL: hoog):** De kwaliteit van voedsel kan na de oogst of vangst snel afnemen, waardoor voedingsstoffen verloren gaan. Data-analyse kan meehelpen om de keten vanaf oogst of vangst zo efficiënt mogelijk te regelen, en zo bij te dragen aan het kwaliteitsbehoud van producten.

Digitale technologieën dragen vooral bij aan *MMIP B5 Vermindering van energieverbruik*, met name door de inzet van data-analyses voor het efficiënter maken van processen. De brede mogelijkheden voor toepassingen van precisielandbouw zijn daarbij de meest in het oog springende innovaties. Daarnaast dragen digitale technologieën bij aan *B6 Toename productie en gebruik van biomassa* door data in te zetten voor volumeverhoging.

Tabel 5 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Kunstmatige intelligentie	Big data & analytics	Blockchain	Encryptie technologieën	High performance, grid, cloud computing
B1	Reductie van de uitstoot van methaan in de veehouderij					
B2	Vermindering van de uitstoot van lachgas bij de bemesting van landbouwbodems en bij de vollegrondsteelt					
B3	Vermindering van oxidatie in de veenweidegebieden					
B4	Verhoging vastlegging van koolstof in landbouwbodems, bij vollegrondsteelt, in bos en natuur					
B5	Vermindering van energieverbruik in glastuinbouw					
B6	Toename productie en gebruik van biomassa (biograndstoffen)					

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

²² KPN (2019). Hoe drones boeren helpen met de aardappeloogst. <https://www.kpn.com/zakelijk/blog/hoe-drones-boeren-helpen-met-de-aardappeloogst.htm>

2.2.3 Missie C: Klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied

Digitale technologieën geven inzicht in complexe processen, zo ook het weer en watermanagement. Daarmee dragen ze bij aan de adaptatie van het landelijk en stedelijk gebied aan klimaatsverandering.

- **Geïntegreerd digital platform voor waterbeheer (TRL: hoog):** Sensoren verspreid over de waterketen kunnen (big) data produceren, die gebruikt kunnen worden voor real-time monitoring, simulatie en optimalisatie van watervoorraden. Zo kunnen automatische waarschuwingen worden afgegeven en zelfs handelingen in gang worden gezet om wateroverlast en watertekort te voorkomen. De potentie van het gebruik van big data hiervoor is groot, wel wordt de watersector momenteel gekenmerkt door een lage maturiteit met betrekking tot integratie en standaardisatie van ICT²³.
- **Simuleren en modelleren van waterbeheersystemen en extreme weersverwachtingen (TRL: middel):** deze technologie kan toegepast worden bij geïntegreerde waterbeheersystemen en het modelleren van extreme scenario's (zoals extreme regenval of droogte) (MMIP C1). Met behulp van (water)gegevens uit verschillende bronnen (sensoren, rioleringssystemen en grond- en oppervlaktewaterniveaus) kunnen *in real time* beslissingen genomen worden om overlast en schade te beperken. Er worden momenteel pilots met geïntegreerd waterbeheersystemen uitgevoerd.²⁴
- **Deep Learning-weervoorspellingssysteem (TRL: hoog):** Weersvoorspellingen worden steeds beter met behulp van machine learning en de steeds grotere beschikbaarheid van meteorologische gegevensbronnen. Ook voorspellingen over klimaatverandering kunnen beter worden ingeschat, waardoor beleidsmakers robuustere keuzes kunnen maken²⁵. Deze betere weermodellen worden ook mogelijk gemaakt door vooruitgang in high performance computing: de steeds beter presterende supercomputers kunnen steeds ingewikkelder weermodellen simuleren.
- **Tool voor geospatiale data genereren (TRL: hoog):** AI kan worden gebruikt voor het genereren en voorbereiden van synthetische geospatiale gegevens: dit is kunstmatig gegenereerde informatie die kan worden gebruikt in plaats van echte historische gegevens om machine learning modellen te trainen wanneer feitelijke gegevens ontbreken. Deze synthetische gegevens kunnen gebruikt worden ter ondersteuning van geo-informatiesystemen. Toepassingen kunnen variëren van monitoring en besluitvorming in stedelijke bescherming van wateroverlast, tot voedseltoeleveringsketens of ander locatie-gebaseerd gebruik²⁶.
- **Data-analyse inzetten voor precisiebewatering in landbouw (TRL: hoog):** Zoals eerder beschreven bij precisielandbouw, kan de combinatie van sensoren (IoT), data-analyse en modellen (bijv. in de cloud) per vierkante meter of per plant berekenen hoeveel irrigatie nodig is. Daarmee kan de waterefficiëntie in de landbouw verbeteren.

De bovenstaande innovatieve oplossingen dragen vooral bij aan *MMIP C1 Voorkomen van wateroverlast en watertekort in landelijk (en stedelijk) gebied*, door beter toekomstig weer,

²³ EC. (2023). Water management digitalisation. <https://joinup.ec.europa.eu/collection/rolling-plan-ict-standardisation/water-management-digitalisation>

²⁴ <https://joinup.ec.europa.eu/collection/rolling-plan-ict-standardisation/water-management-digitalisation-0>

²⁵ Xia, J. et al. (2020). Machine-learning based weather support for the 2022 winter Olympics. *Advances in atmospheric sciences*, 37, 927-932. <https://doi.org/10.1007/s00376-020-0043-5>; Ren, X., et al. (2021). Deep learning-based weather prediction: a survey, *Big Data research*, 23, 100178. <https://doi.org/10.1016/j.bdr.2020.100178>

²⁶ Golubev, A., et al. (2016). Geospatial Data Generation and Preprocessing Tools for Urban Computing System Development. *Proceeding Computer Science*, 101, 217-226. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.11.026>

klimaat en gedrag van water te voorspellen en inzicht te geven in hoe hierop kan worden ingespeeld. Zo kunnen piekbuien beter voorspeld worden met betere weersmodellen. Daarnaast kunnen de technologieën waterverbruik in de landbouw optimaliseren.

Tabel 6 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Kunstmatige intelligentie	Big data & analytics	Blockchain	Encryptie technologieën	High performance, grid, cloud computing
C1	Voorkomen van wateroverlast en watertekort in landelijk (en stedelijk) gebied					
C2	Ontwikkeling van klimaatbestendige land- en tuinbouwproductiesystemen					
C4	Verbeteren van de waterkwaliteit					

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

2.2.4 Misse D: Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel

Digitale technologieën dragen bij aan de missie van *gewaardeerd, gezond en veilig voedsel*: langs de gehele voedselketen kunnen innovatieve digitale oplossingen het eindproduct optimaliseren en meer gezond en veilig maken.

- **Blockchain-certificaat (TRL: middel):** Hoewel blockchain als technologie door sommige geïnterviewde experts als een hype wordt getypeerd, heeft het potentieel om de authenticiteit van producten, dieren, planten, transacties en documenten te certificeren door middel van digitale handtekeningen en digitale vingerafdrukken. Deze blockchain-technologie kan de toeleveringsketen van voedsel transparanter maken. Het vergroten van de transparantie op dit gebied kan nuttig zijn om voedselcertificeringen te kunnen geven, zoals 'GMO-vrij'. Om de voordelen van deze technologie te kunnen benutten moeten nog wel uitdagingen met betrekking tot opschaling worden opgelost²⁷.
- **Anticipatory shipping (TRL: middel):** deze technologie is een machine learning-technologie die de kooppatronen van consumenten leert kennen en kan anticiperen wanneer bestellingen worden geplaatst. Dit geeft het de mogelijkheid om de hele toeleveringsketen voor te bereiden op het verzenden van artikelen naar gebieden waar verbruikspieken worden verwacht. Dit kan helpen de voedselvoorzieningsketens duurzamer te maken door voedselverspilling of een gebrek aan voedselbeschikbaarheid te voorkomen. Het kan ook helpen ervoor te zorgen dat voedselvoorzieningsketens effectief zijn, waardoor de versheid van voedsel verder wordt gegarandeerd en de voedselveiligheid wordt verhoogd²⁸.
- **Integrated Operations Center (TRL: middel):** IoT-communicatieapparatuur, voorspellingen op basis van data-analyse en automatische parameteraanpassingen kunnen

²⁷ OpenRecht (2018). Juridische aspecten van Blockchain toepassing in de Food keten. <https://www.openrecht.nl/commentaar/5ffab948-9b6e-44bf-8c6a-ec29ce1a857c/>

²⁸ Tsolaki, K., et al. (2022). Utilizing machine learning on freight transportation and logistics applications: a review. *ICT Express*. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2022.02.001>

gecombineerd worden tot een geïntegreerd besturingssysteem. Een dergelijk besturingssysteem kan grote en complexe faciliteiten op afstand besturen en onderhouden op basis van real-time data. Op die manier kunnen (gedeelten van) voedselketens geoptimaliseerd worden om veiliger en duurzamer te functioneren. Zo kan bijvoorbeeld geoptimaliseerd worden hoelang producten in een opslagfaciliteit blijven liggen, en door optimaal verpakkingsmateriaal te vinden voor voedseltransport²⁹. Het PPS-project “Een optimale zacht-fruitketen begint bij de oogst” richt zich op het ontwikkelen van een voorspellingsmodel en algoritmen die aan de hand van producteigenschappen een oogstprognose kunnen geven, waardoor zo optimaal mogelijk het moment van oogsten kan plaatsvinden.

- **Digitaliseren van voedselverwerking en voedseltransport (TRL: middel):** Door middel van integratie van sensoren en real-time data en verwerkingsmodellen kunnen digital twins van een product in de voedselvoorzieningsketen gemaakt worden. Zo kan men scenario's simuleren en inzicht creëren om op elk moment optimale beslissingen te nemen. Het PPS-project *Future sensors and digital twins to improve perishable food quality during distribution and production* richt zich hierop.³⁰
- **Vroegtijdige signalering ziekten dieren met behulp van data-analyse (TRL: middel):** AI-modellen kunnen ziektes van dieren leren herkennen. Hiervoor worden de AI-modellen getraind op basis van data, zoals foto's van koeienkoppen. Op basis van bijvoorbeeld de stand van de oren en ogen, en of de koe een snotneus heeft, kan het AI-model leren herkennen of de koe ziek is en indien nodig adviseren de koe te isoleren om te voorkomen dat de ziekte zich verspreid³¹. Hierdoor kunnen risico's voor de volksgezondheid ook eerder worden gedetecteerd. Ook op de lange termijn heeft deze innovatie mogelijk bijkomstige voordelen: vroegtijdig ziekten signaleren betekent dat er minder antibiotica hoeft worden gebruikt bij de ziektebestrijding. Dit heeft als mogelijk gevolg dat antibioticaresistentie minder snel optreedt.
- **Real-time monitoren van de primaire productie om de productie te verhogen (TRL: middel):** Door meer data te verzamelen over bijvoorbeeld melkkoeien kunnen instructies worden ontwikkeld voor de melkveehouder over hoe individuele koeien kunnen worden verzorgd. Zo hopen onderzoekers m.b.v. big-data-analyse koeien meer melk te laten produceren³². In de aquacultuur kan het real-time monitoren van de gezondheid van vissen ook belangrijk zijn voor het kunnen garanderen van de productkwaliteit en de selectie in kweekprogramma's. Het PPS-project *Modelling the relationship of exterior traits of fish* richt zich hierop.³³
- **Encryptie van data in de voedselketen maakt de keten veiliger en weerbaarder (TRL: middel):** De voedselsector is een kritische (d.w.z. essentiële) sector, wat betekent dat de

²⁹ WUR (2022). Thijs Defraeye appointed as special professor 'data and simulations for self-care postharvest fresh-food supply chains'. <https://www.wur.nl/en/research-results/chair-groups/agrotechnology-and-food-sciences/food-sciences-technology/show/thijs-defraeye-appointed-as-special-professor-data-and-simulations-for-self-care-postharvest-fresh-food-supply-chains.htm>

³⁰ <https://projecten.landbouwwatervoedsel.nl/project/future-sensors-and-digital-twins-to-improve-perishable-food-quality-during-distribution-and-production/>

³¹ WUR. (2023). Ziekte detectie met behulp van computervisie. <https://www.wur.nl/nl/artikel/Ziekte-detectie-met-behulp-van-computervisie.htm>

³² TNO (2016). Fieldlab als aanjager van het innovatieve ecosysteem. <https://www.bdvcl.nl/images/Rapporten/TNO-2016-R11444.pdf> ; Deloitte. (2022). Unlocking value through integrated operations. <https://www.deloitte.com/global/en/Industries/mining-metals/analysis/unlocking-value-through-integrated-operations.html>

³³ <https://projecten.landbouwwatervoedsel.nl/project/modelling-the-relationship-of-exterior-traits-of-fish/>

cyberveiligheid van de sector belangrijk is. Encryptie van data kan helpen bij het ontwikkelen van een veiliger voedselketen, vooral wanneer steeds meer data in de cloud wordt gezet³⁴.

Digitale technologieën hebben de potentie om aan alle in Tabel 7 genoemde MMIP's bij te dragen. Veel van de bovengenoemde technologieën hebben echter wel het meeste effect wanneer ze op grote schaal worden gebruikt, en langs heel de keten. De implementatie van deze technologieën kan dan ook relatief veel tijd gaan kosten.

Tabel 7 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Kunstmatige intelligentie	Big data & analytics	Blockchain	Encryptie technologieën	High performance, grid, cloud computing
D2	Stimuleren van het produceren en consumeren van gezond en duurzaam voedsel					
D3	Ontwikkelen van veilige, duurzame productiesystemen zonder risico's voor de omgeving					
D4	Ontwikkelen van een substantieel duurzamer en veiliger voedselketen					

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

2.2.5 Missie E: Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren

Er is minder potentie voor digitale technologieën voor de missie om bij te dragen aan de duurzame en veilige Noordzee vergeleken met andere missies.

- **Offshore drijvende boerderijen (TRL: middel):** Offshore farming technieken, zoals hydrocultuur, aquacultuur en andere alternatieve landbouwmethoden, kunnen (mobiele) drijvende boerderijen mogelijk maken³⁵. Digitale technologie kan dit soort boerderijen zelf aansturend (autonoom) maken, zodat er nauwelijks onderhoud aan te pas hoeft te komen. Satellietdata kan gebruikt worden om de mobiele drijvende boerderijen automatisch te verplaatsen naar een plek met gunstiger weersomstandigheden.
- **Real-time data dashboards tonen de huidige visbestanden om het beheer te optimaliseren (TRL: hoog):** Data verzameling van verschillende bronnen kan het inzicht en beheer van visbestanden verbeteren.
- **Digital Twin van de oceaan om te kunnen voorspellen hoe klimaatverandering en menselijke activiteit het Noordzee ecosysteem zullen beïnvloeden (TRL: laag-middel):** Op Europees niveau wordt momenteel gewerkt aan de zogenaamde *European Digital Twin of the Ocean*. Deze *digital twin* is een digitale representatie van de oceaan, waarbij met

³⁴ ING (2022). Investeren in cybersecurity is cruciaal: update Food & Agri sector.

<https://www.ing.nl/zakelijk/grootzakelijk/sector-thema-update-food-en-agri-cybersecurity.html>; Smeets, R. (2022). EU-parlement keurt strengere Europese cybersecurity wetgeving goed.

<https://www.dutchcowboys.nl/cybercrime/eu-parlement-keurt-strengere-europese-cybersecurity-wetgeving-goed>

³⁵ Rotterdam (2023). Floating farm. <https://rotterdam.info/locaties/floating-farm/>

historische en real-time data scenario's met fysische, chemische, biologische, sociaal-ecologische en economische dimensies gesimuleerd kunnen worden (MMIP E1).

Data-analysetechnologieën hebben potentie om bij te dragen aan het beter monitoren van landbouw op zee, en van de visbestanden, en zo aan beide MMIP's genoemd in Tabel 8 bij te dragen.

Tabel 8 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Kunstmatige intelligentie	Big data & analytics	Blockchain	Encryptie technologieën	High performance, grid, cloud computing
E1	Balans tussen economische activiteiten op zee, zoals de opwekking van hernieuwbare energie en de productie van voedsel en de ruimtelijke en ecologische draagkracht van de Noordzee					
E5	Ontwikkeling van een duurzame kust- en zeevisserij op de Noordzee					

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

2.2.6 Overige missies van LNV

De potentie van digitale technologieën voor het bijdragen aan de overige missies van LNV is afhankelijk van de kennis en kunde van boeren en andere inwoners van het landelijk gebied op het gebied van (geavanceerde) digitale technologieën.

- **Beter onderwijs in digitale technologieën en digitale geletterdheid onder boeren en andere inwoners kan de welvaart in het landelijk gebied verbeteren (TRL: hoog):** Als boeren meer onderwijs in het gebruiken van digitale technologieën krijgen, hebben ze ook meer mogelijkheden om aan de welvaart in het landelijk gebied bij te dragen d.m.v. innovatieve oplossingen.
- **Dataverzameling over de staat van vogelpopulaties en habitatten (TRL: middel):** uitgebreide verzameling van data over de staat van de natuur, onder andere vogelpopulaties en habitatten, kan bijdragen aan het tijdig ingrijpen. Zo kunnen bijvoorbeeld stikstofniveaus beter worden gemonitord en tijdig worden ingegrepen wanneer er te veel stikstof vrijkomt in een gebied.
- **Blockchain gebruiken bij het bijhouden van de rasstamboeken (TRL: hoog):** deze technologie heeft het potentieel om de authenticiteit van (gefokte) gezelschapsdieren te certificeren door middel van digitale handtekeningen en digitale vingerafdrukken. Zo is erkenning die geregeld is via de blockchain transparant voor iedereen en kan het helpen bij het bevorderen van de handel van raszuivere dieren. Zodra een gezelschapsdier wordt geboren of verkocht, kan dit op de blockchain geregistreerd worden. Ook kan het dienen als een digitaal rasstamboek, keuringsbewijs of zoötechnische certificaat, aangezien de originele input niet meer aangepast kan worden.
- **Remote sensing (TRL: hoog):** Dataverzameling met behulp van remote sensing kan de staat van de natuur en het water in Nederland beter helpen monitoren, te analyseren en als ondersteuning bij beslissingen te worden meegenomen.

Tabel 9 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Kunstmatige intelligentie	Big data & analytics	Blockchain	Encryptie technologieën	High performance, grid, cloud computing
LVN2	Verhogen Brede Maatschappelijke Welvaart in het landelijk gebied					
LVN3	Doelen van de Vogel- en Habitatrichtlijn in Nederland zijn bereikt en de Nederlandse ecologische voetafdruk is gehalveerd					
LVN4	Gezelschapsdieren en dieren voor vermaak zijn fysiek en mentaal gezond					

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

2.3 Relevante initiatieven en organisaties in Nederland

Er gebeurt al veel op het gebied van digitale technologieën in Nederland. Er zijn veel individuele organisaties en samenwerkingsverbanden actief. Wat vooral opvalt is dat er veel *triple helix* initiatieven zich bezighouden met innovatieve toepassingen van digitale technologieën toepassen. Verder blijkt ook uit de kwantitatieve analyse van verschillende databases (Figuur 1) dat meerdere Nederlandse universiteiten, waaronder prominent de WUR, betrokken zijn bij projecten op Europees of Nederlands niveau.

- **Dutch Digital Delta (hiervoor topsector ICT):** Dit *triple helix* samenwerkingsverband heeft als missie om innovaties in de ICT te stimuleren en te initiëren.
- **Nederlandse AI Coalitie:** Dit is een publiek-private samenwerking die als doel heeft om AI-initiatieven en ontwikkelingen bij elkaar te brengen. **Het ICAI (Innovatie Centrum voor AI)** is daarnaast een netwerk van een tiental privaat-publieke AI-laboratoria.
- **Het ECP (platform voor de Informatiesamenleving):** een platform dat discussies rondom de digitale samenleving te initieert.
- **Dutch Blockchain Coalition:** Hierin werken 50 publieke en private organisaties in een *triple helix* samen aan blockchain toepassingen.
- De topsectoren **Agri & Food**, en **Tuinbouw & Uitgangsmaterialen**: Deze topsectoren werken beide aan het inzetten van (digitale) technologieën voor het behalen van de LNV-missies. In de topsectoren werken initiatieven in een *triple helix* samen.
- **OnePlanet Research Center:** is een samenwerkingsverband tussen **Wageningen University & Research (WUR)**, **Radboud Universiteit**, **Radboudumc** en **imec**. Met behulp van de nieuwste chip- en digitale technologieën streeft het OnePlanet Research Center om een duurzame maatschappij te creëren.
- **Wageningen University Research:** De universiteit doet veel onderzoek naar nieuwe technologieën voor het optimaliseren van de landbouw.
- **Fieldlab Smart Farming:** Dit is een samenwerking tussen TNO en WUR. Het fieldlab onderzoekt of de inzet van IoT en Big data kan bijdragen aan duurzamer en efficiënter produceren in de landbouw.

Figuur 1 Relevante initiatieven en organisaties op het gebied van Digitale Technologieën in Nederland



Technopolis Group

2.4 Kansen voor de opgaven van LNV

- Uitgebreidere beschikbaarheid van gegevens maken optimaliseren van o.a. de landbouw en tuinbouw mogelijk:** de nu beschikbare sensoren produceren veel meer, en meer precieze, gegevens beschikbaar dan er vroeger waren om beslissingen op te baseren. Deze hoeveelheid aan informatie maakt beter geïnformeerde landbouw, tuinbouw en voedselketenmanagement mogelijk. In de glastuinbouw wordt al een dergelijk geoptimaliseerd systeem gebruikt. Om deze kans verder te kunnen benutten moeten de sensoren wel verder ontwikkeld worden voor de use-cases en geïnstalleerd worden in deze omgevingen, zodat de data beschikbaar komen.
- Uitgebreidere beschikbaarheid van data-analysemethoden en modellen:** de nu beschikbare AI-modellen en data-analysemethoden bieden mogelijkheden voor meer uitgebreide analyses die vervolgens gebruikt kunnen worden voor de automatisering van besluitvorming in landbouwmanagement en de voedselketen. Om deze kans te grijpen, moeten gebruikers, zoals boeren en voedselketenmanagers, wel worden opgeleid om met de modellen te kunnen werken en hun uitkomsten te kunnen interpreteren. Tegelijkertijd moeten de modellen wel input van boeren en voedselketenmanagers meenemen bij de ontwikkeling, aangezien zij de *tacit knowledge* van de praktijk hebben én het moeten gaan gebruiken.
- Automatisering biedt mogelijkheden om de primaire sector en voedselketens efficiënter te maken:** De meer uitgebreide data en analysemodellen geven ook mogelijkheden voor automatisering van processen in de primaire sector en voedselketens. Dit betekent ook dat de timing van de productie en beschikbaarheid van producten kan worden geoptimaliseerd, zoals een hogere beschikbaarheid van bloemen rond moederdag.

2.5 Bedreigingen voor de opgaven van LNV

- **Automatisering kan de invulling van banen veranderen:** Het automatiseren van processen betekent ook dat de baan van mensen in de voedselketen op de tocht kan komen te staan. Er kunnen functies verdwijnen en nieuwe functies ontstaan die om andere vaardigheden vragen. Verlies van banen kan deels voorkomen worden door omscholingsopties aan te bieden aan die groepen wiens baan mogelijk het gevaar loopt opgeheven te worden³⁶. Tegelijkertijd kan automatisering ook positieve effecten hebben, bij bijvoorbeeld arbeidstekorten die risico's op oogstverlies vergroten. Het is dus belangrijk om dit aspect te overwegen bij beleidsvorming, aangezien het verschillende effecten met zich mee kan brengen.
- **Meer dataopslag brengt hoger energiegebruik met zich mee:** De hier gepresenteerde technologieën vereisen een grote hoeveelheid beschikbare data. De opslag van deze data gebeurt veelal in grote datacentra, die veel energie gebruiken. Als de energiemix niet uit meer hernieuwbare energie gaat bestaan in de toekomst, is er het risico dat de digitale technologieën via het energiegebruik toch bijdragen aan meer uitstoot van broeikasgassen.
- **(Cyber)security risico's:** De meer uitgebreide beschikbaarheid van data brengt ook een veiligheidsrisico met zich mee; deze data kunnen gehackt worden en voor andere doeleinden gebruikt worden. Wanneer de systemen gehackt worden waarop de landbouw en voedselketens draaien, dan kan de productie stil komen te liggen wat de voedselvoorziening in gevaar kan brengen. Dit risico kan worden beheerst door de gebruikers van de data te trainen in cyberveiligheid, en door 5G-internet te gebruiken in plaats van 4G. 5G faciliteert namelijk verbeterde encryptie van data³⁷.
- **Datasoevereiniteit en machtsverhoudingen in de voedselketen:** Het bezit van data kan effect hebben op de machtsverhoudingen in de voedselketen. Van wie is de data is een centrale vraag. Van de gebruiker, van de leverancier (bijv. platforms) of is de data openbaar beschikbaar? Worden partijen in de voedselketen afgerekend op basis van de (open) data door de overheid, door investeerders of door andere ketenpartners? De macht in de voedselketen kan meer bij bedrijven zoals die in de retail komen te liggen, vooral met betrekking tot prijsbepaling. Meer transparante data betekent ook dat de retail meer inzicht heeft in de (mogelijke) bedrijfsvoering van boeren, wat risico's voor de positie van de boeren met zich meebrengt³⁸.

2.6 Reflectie

De sleuteltechnologie Digitale technologieën is zeer relevant voor de KIA-LWV. Vrijwel alle toepassingen van de sleuteltechnologieën gebruiken in enige mate digitale technologieën, bijvoorbeeld om data van een sensor te verwerken. Digitale technologieën worden binnen het ST1-programma al ontwikkeld om bij te dragen aan de missies van LNV. Er zijn gerichte toepassingen beschikbaar of in ontwikkeling die relevant zijn voor nagenoeg alle missies van LNV. Veel missietrekkers hebben behoefte aan betere data, monitoring en sensing waaraan DT's kunnen bijdragen.

³⁶ Farooq, M. S., et al. (2019). A survey on the role of IoT in agriculture for the implementation of smart farming. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2949703>

³⁷ KPN (2020). Ook in veiligheid is 5G een volgende stap. <https://www.kpn.com/zakelijk/blog/ook-in-veiligheid-is-5g-een-volgende-stap.htm>

³⁸ Bron: Interview

Toepassingen van Digitale Technologieën bevinden zich veelal in hogere TRL-niveaus en moeten vaak doorontwikkeld worden voor toepassing in de praktijk. Daarmee leent het zich om ook directer in de missies toe te passen.

Digitalisering brengt wel vraagstukken met zich mee over veiligheid, vaardigheden en de effecten van meer data voor partijen in de voedselketen. Dat vraagt enerzijds ook om een visie op de digitalisering van de primaire sector en aandacht voor draagvlak binnen m.n. de sector. Digitale vaardigheden zijn voor adoptie essentieel en dus aandacht hiervoor binnen opleidingen. Vanwege de kansen en de verdere digitalisering van de maatschappij zijn die vraagstukken waar binnen LNV ook aandacht voor moet zijn.

3 Fiche Life Science Technologies

3.1 Beschrijving

Life Science Technologies (LST) omvat technologieën die zich richten op de werking van levende organismen en onderdelen daarvan zoals weefsels, cellen en biomoleculen³⁹, de processen die zich in deze organismen afspelen en hoe deze leiden tot bijvoorbeeld reproductie, veroudering en gezondheidsproblemen. LST volgen, beïnvloeden of simuleren deze celprocessen en hebben als doel deze te optimaliseren voor nuttige toepassingen, zoals het afbreken van schadelijke stoffen of de verbeterde werking van een medicijn. Toepassingsgebieden van LST zijn breed: in de biomedische sector, maar ook de gezondheidszorg en de biobased economie, en plantaardige en dierlijke voedselproductie.

LST overlapt deels met verschillende andere technologieën, zoals chemische technologieën, en engineering and fabrication technologies. Daarnaast worden veel digitale technologieën gebruikt in de LST-domeinen.

De belangrijkste technologieën die onder de paraplu van LST's vallen volgens het raamwerk van de KIA Sleuteltechnologieën, zijn:

- **Biokatalyse:** draait om het laten verlopen of versnellen van (bio)chemische reacties d.m.v. organische katalysatoren, zoals enzymen, in levende organismen.
- **Biochips en Biosensoren:** miniatuurlaboratoria op een chip die gebruik maken van receptoren of andere biologische moleculen voor de detectie van cellen of moleculen.
- **Biofabricatie:** het produceren van complexe biologische producten op basis van biomaterialen zoals levende cellen, weefsels en moleculen.
- **Gene editing/ Precise Genetic Engineering:** het (met hoge precisie) modifieren van genen (bijv. CRISPR-CAS) voor medicijnontwikkeling of gewasveredeling.
- **Het analyseren van Genomics:** genomen (het geheel van genen van een organisme); **Proteomics:** het complex van eiwitten; **Metabolomics:** metabolisme (stofwisseling) **Glycomics:** glycomes (koolhydraten in cellen) **X-omics:** noemer waaronder verschillende -omics disciplines worden gevangen. Genomics en gene editing zijn gerelateerd: kennis van genomics is nodig om aan gene editing te doen.
- **Industriële (witte) Biotechnologie:** het biochemisch produceren van producten zoals aminozuren, antibiotica, biochemische bouwstenen, bioplastics, vitaminen etc.
- **Nanomedicijnen:** het gebruiken van nanotechnologie om zowel medicijnen te creëren als om deze op de juiste plaats te krijgen.
- **Organ-on-Chip:** chips die functies van levende menselijke cellen of organen simuleren.
- **Stamceltechnologie:** Stamcellen zijn cellen die zich kunnen ontwikkelen tot andere typen cellen. Deze technologie probeert stamcellen verder te ontwikkelen tot cellen die defecte cellen, weefsels of organen kunnen vervangen.
- **Synthetische celtechnologie:** het maken van kunstmatige cellen, opgebouwd vanuit de verschillende onderdelen van een cel, voor beter begrip van de werking van de cel en voor het produceren van bruikbare stoffen.

³⁹ TNO. (2018). De potentiële bijdrage van technologie aan maatschappelijke uitdagingen.

3.2 Bijdrage aan opgaven van LNV

LST hebben potentie om een bijdrage te leveren aan de opgaven van LNV, vooral aan kringlooplandbouw en gewaardeerd, gezond en veilig voedsel. Deze potentie ligt vooral in de verdeling van plantenrassen en dieren zodat ze efficiëntere productie kunnen waarborgen, of beter aangepast kunnen worden aan veranderende klimaatomstandigheden. Tabel 1 geeft een overzicht van de mate waarin LST bijdraagt aan de opgaven van LNV. In de volgende paragrafen gaan we nader in op voorbeelden van bijdrages van deze sleuteltechnologie aan deze opgaven.

Tabel 10 Mate waarin de sleuteltechnologie een bijdrage kan leveren aan opgaven van LNV

Opgave LNV	← kleine bijdrage grote bijdrage →				
Kringlooplandbouw					
Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie					
Klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied					
Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel					
Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren)					
Overige missies van LNV					

Beoordeling Technopolis Group

3.2.1 Missie A: Kringlooplandbouw

Er is een grote potentie van LST om aan kringlooplandbouw doelstellingen bij te dragen, vooral op de lange termijn. De potentie ligt bijvoorbeeld in het editen van het genoom van planten zodat ze minder input nodig hebben om dezelfde of meer output te realiseren. Dit is gerelateerd aan het circulaire economie principe *reduce*.

- **Veredeling van gewassen om zich aan te passen aan klimaatsverandering (TRL: laag/middel):** Veredeling kan zich richten op resistentie tegen (a)biotische stress en aanpassing aan klimaatverandering. Deze veredeling zorgt ervoor dat de plantenrassen met veranderende omstandigheden toch dezelfde productie kunnen leveren⁴⁰.
- **Veredeling van gewassen om meer output te geven (TRL: laag-middel):** Veredeling kan zich richten op 1) betere nutriëntenbenutting; 2) optimaal gebruik maken van het microbiom (bacteriën en schimmels die zich in de bodem bevinden); 3) verhogen eiwitproductie; 4) *multipurpose* gewassen en paddenstoelen voor hergebruik van reststromen. Deze toepassingen richten zich erop om met dezelfde omgeving voor de plant, en een gelijke input (voedingsstoffen) voor de plant, meer output (eetbare delen) te produceren⁴⁰. Een ander toepassingsgebied is veredeling voor nieuwe teeltsystemen, zoals verticale landbouw.
- **Productie van eiwitgewassen en paddenstoelen vanuit reststromen (TRL: middel):** Eiwitgewassen en paddenstoelen kunnen hoge opbrengsten en grote oogstzekerheid verzekeren. De productie vanuit reststromen versterkt de circulariteit van de producten.
- **Stamceltechnologie voor kweekvlees (TRL: laag-middel):** Stamceltechnologie kan gebruikt worden om kweekvlees te produceren. Op deze manier kan men vlees produceren in een

⁴⁰ Scholten, O. E. et al. (2019). Programmeringsstudie Biotechnologie en Veredeling. Wageningen University & Research.

proces waar nauwelijks dieren aan te pas komen. Daardoor is de productie diervriendelijker en komt er minder broeikasgas vrij. Er zijn echter ook nog veel vraagstukken gerelateerd, zoals hoeveel water er voor de productie nodig is, hoeveel beter kweekvlees voor het klimaat is en of het mogelijk is kweekvlees op grote schaal te produceren.

- **Biotechnologie zoals precisiefermentatie (TRL: hoog):** Biotechnologie kan worden gebruikt om producten zoals zuivel te produceren zonder dat daar dieren bij te pas komen. Precisiefermentatie is een proces waarbij gisten en bacteriën geprogrammeerd worden om zonder dierlijke cellen toch producten zoals kaas te produceren.
- **Biofabricatie en synthetische celtechnologie toepassingen voor nano-kunstmest (TRL: laag):** Op dit moment zijn hoge hoeveelheden (kunst)mest in de natuur rondom landbouwgebieden een probleem, waarbij de laatste jaren de meeste aandacht ging naar de hoge hoeveelheid stikstof die erbij vrijkomt. Biofabricatie van nano-kunstmest is een innovatieve oplossing voor de verduurzaming van de landbouw. Het kan een rol spelen in het optimaliseren van de productie door planten, terwijl de hoeveelheid kunstmest en toxische stoffen die in de natuur terechtkomen, en de negatieve effecten op de bodem van normaal kunstmest, verminderen⁴¹.
- **Biopesticiden (TRL: middel):** Biopesticiden zijn gewasbeschermingsmiddelen gebaseerd op natuurlijke materialen of organismen, zoals planten en micro-organismen. De biopesticiden zouden chemische gewasbeschermingsmiddelen kunnen vervangen en kunnen bijdragen aan een gezondere bodem en substraat en robuuste teeltsystemen. Voordat biopesticiden grootschalig in gebruik kunnen worden genomen moet regelgeving worden aangepast.

Deze voorbeelden sluiten aan bij de missie Kringlooplandbouw, ten eerste via MMIP A1 *Verminderen fossiele nutriënten en emissies naar bodem, water, en lucht*: hierbij gaat het vooral om het effectiever benutten van nutriënten, wat de gebruiksefficiëntie van het landbouwsysteem verbetert. Wat betreft A2 *Robuuste teeltsystemen* sluiten de voorbeelden aan bij de beoogde outcomes van gewassen bestand maken tegen (a)biotische stress.

Tabel 11 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Biokatalyse	Biochips en biosensoren	Biofabricatie	Gene editing	Genomics	Industriële biotechnologie	Nanomedicijnen	Organ-on-a-chip	Stamceltechnologie	Synthetische celtechnologie
A1	Verminderen fossiele nutriënten en emissies naar bodem, water en lucht										
A2	Ontwikkeling van robuuste teeltsystemen op een gezonde bodem en substraat op basis van agro-ecologische principes										
A3	Optimalisering van het hergebruik van zij- en reststromen										

⁴¹ Yaseen, R., et al. (2020). Nano-fertilizers: bio-fabrication, application and biosafety. *Novel research in Microbiology Journal*, 4(4), 884-990. Doi: 10.21608/nrmj.2020.107540

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Biokatalyse	Biochips en biosensoren	Biofabricatie	Gene editing	Genomics	Industriële biotechnologie	Nanomedicijnen	Organ-on-a-chip	Stamceltechnologie	Synthetische celtechnologie
A4	Ontwikkeling van nieuwe plantaardige eiwitbronnen binnen Europa voor voedsel en diervoeders										
A5	Inzicht in hoe biodiversiteit kan worden hersteld en benut in de kringlooplandbouw										

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

3.2.2 Missie B: Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie

LST heeft ook de potentie om aan klimaatneutrale landbouw en voedselproductie bij te dragen. De potentie komt vooral voort uit de mogelijkheden om huidige industriële processen gestoeld op fossiele brandstoffen en de vee-industrie her in te richten op basis van (plantaardige) biobrandstoffen. Ook zijn er veel mogelijkheden om processen in de landbouw en voedselproductie meer efficiënt te maken.

- **Innovatief veevoeradditief vermindert de methaanproductie van melkkoeien (TRL: hoog):** Voeradditieven kunnen de uitstoot van methaan door melkkoeien tot 40% verminderen⁴². Deze techniek is het resultaat van 10 jaar aan gezamenlijk innovatief onderzoek door verschillende Nederlandse partijen.
- **Energiezuinige teelt en opslag van voedsel: (TRL: laag):** Gene editing kan bijdragen aan het ontwikkelen van plantenrassen met betere bewaarbaarheid en hogere kwaliteitsgarantie.
- **Optimalisatie biomassavolume voor gebruik voor o.a. biobrandstoffen (TRL: middel):** Nieuwe biograndstoffen, zoals algen (inclusief zeewier), kunnen hoge volumes biomassa produceren. Daarbij kan tot vijfmaal zoveel output per hectare worden verkregen dan bij traditionele landbouw, wanneer de werking van algen d.m.v. genomics beter wordt begrepen en d.m.v. gene editing wordt geoptimaliseerd⁴³. Algenteelt heeft verschillende potentiële voordelen ten opzichte van traditionele gewassen op land, zoals efficiëntere fotosynthese, hogere olieopbrengst, het vermogen te groeien op onvruchtbaar land, tolerantie voor een verscheidenheid aan waterbronnen (zoet, brak en zout), en een potentieel voor CO₂-hergebruik⁴⁴. Algen zouden biobrandstoffen kunnen maken uit afvalwater dat door algen is schoongemaakt – waarbij de algen twee problemen in één

⁴² Van Gastelen, et al. (2022). Methane mitigation potential of 3-nitrooxypropanol in lactating cows is influenced by basal diet composition. *Journal of Dairy Science*, 105. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20782>

⁴³ Wargacki, A. J. (2012). An engineered microbial platform for direct biofuel production from brown macro-algae. *Science*, 335(6066), 308-313. Doi: 10.1126/science.1214547

⁴⁴ JRC (2015). Biofuels from algae: technology options, energy balance and GHG emissions: Insights from a literature review. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC98760>

keer aanpakken⁴⁵. Voordat algen echter kunnen worden gebruikt ter vervanging van fossiele brandstoffen, moet hun economische haalbaarheid nog worden bewezen.

- **Optimalisatie van fotosynthese in gewassen en algen (TRL: laag):** Gericht *gene editing* onderzoek (bijv. met behulp van CRISPR/Cas) naar de optimalisatie van fotosynthese in gewassen en algen zou de efficiëntie van de landbouw sterk kunnen verbeteren⁴⁶. Onderzoek hiernaar is echter nog volop in ontwikkeling⁴⁷.
- **Meervoudig gebruik van biograndstoffen via bio-raffinage (TRL: middel):** Door middel van bio-raffinage kunnen biograndstoffen opgesplitst worden in verschillende componenten. Deze componenten kunnen elk zo efficiënt mogelijk worden benut en zo optimaal bijdragen aan de reductie van broeikasgassen⁴⁸.

Deze voorbeelden sluiten aan bij de missie Kringlooplandbouw, ten eerste via MMIP B6 Productie en gebruik van biomassa: hierbij gaat het vooral om het effectiever benutten van nutriënten, wat de gebruiksefficiëntie van het landbouwsysteem verbetert. Wat betreft B1 Emissiereductie methaan veehouderij gaat het vooral om het verminderen van methaanproductie van melkkoeien m.b.v. innovatief veevoer. LST kan MMIP B5 Energiebesparing, -productie en -gebruik ondersteunen vooral door planten met *gene editing* te optimaliseren om met minder energie meer output te leveren.

Tabel 12 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Biokatalyse	Biochips en biosensoren	Biofabricatie	Gene editing	Genomics	Industriële biotechnologie	Nanomedicijnen	Organ-on-a-chip	Stamceltechnologie	Synthetische celtechnologie
B1	Reductie van de uitstoot van methaan in de veehouderij										
B2	Vermindering van de uitstoot van lachgas bij de bemesting van landbouwbodems en bij de volleggrondsteelt										
B3	Vermindering van oxidatie in de veenweidegebieden										
B4	Verhoging vastlegging van koolstof in landbouwbodems, bij volleggrondsteelt, in bos en natuur										

⁴⁵ Somervill, C., et al. (2010). Feedstocks for lignocellulosic biofuels. *Science*, 329(5993), 790-792. Doi: 10.1126/science.1189268.

⁴⁶ MMIP B6 E12B Productie en gebruik van biograndstoffen. <https://kia-landbouwwatervoedsel.nl/wp-content/uploads/B6-Productie-en-gebruik-van-biomassa.pdf>

⁴⁷ Bijv. Hussain, S. et al. (2021). Photosynthesis research under climate change, *Photosynthesis research*, 150, 5-19. <https://doi.org/10.1007/s11120-021-00861-z>; Scheben, A., et al. (2017) Batista-Silva, W., et al. (2020). Engineering Improved Photosynthesis in the Era of Synthetic Biology. *Plant Communications*, 1(2), 100032. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2020.100032>; Patel, V.K., et al. (2019). CRISPR-Cas9 System for Genome Engineering of Photosynthetic Microalgae. *Molecular Biotechnology*, 61, 541-561. <https://doi.org/10.1007/s12033-019-00185-3>.

⁴⁸ MMIP B6 E12B Productie en gebruik van biograndstoffen. <https://kia-landbouwwatervoedsel.nl/wp-content/uploads/B6-Productie-en-gebruik-van-biomassa.pdf>

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Biokatalyse	Biochips en biosensoren	Biofabricatie	Gene editing	Genomics	Industriële biotechnologie	Nanomedicijnen	Organ-on-a-chip	Stamceltechnologie	Synthetische celtechnologie
B5	Vermindering van energieverbruik in glastuinbouw										
B6	Toename productie en gebruik van biomassa (biograndstoffen)										

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

3.2.3 Missie C: Klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied

LST dragen bij aan een klimaatbestendig landelijk gebied, voornamelijk door met innovatieve technieken de waterkwaliteit beter te kunnen monitoren en vervuiling te detecteren en wegnemen.

- **Waterkwaliteit meten door biosensoren (TRL: hoog):** De DNA-vingerafdruk van microscopisch kleine algen kan gebruikt worden om de ecologische waterkwaliteit in oppervlaktewater te meten⁴⁹.
- **Natuurlijke zuiveringssystemen met behulp van biotechnologie (TRL: hoog):** DNA-testen zoals biodegradatie- en bioaugmentatietesten kunnen ingezet worden om bodem en water te zuiveren en belangrijke micro-organismen te detecteren⁵⁰.
- **Bio-fabricage technologieën voor bioafbreekbaar plastic (TRL: middel):** Met bio-fabricage kan men plastics ontwikkelen die biologisch afbreekbaar zijn. Traditionele plastics kunnen een gevaar vormen voor de waterkwaliteit, vooral wanneer ze afbreken tot microplastics. Ze vormen een gevaar voor mensen wanneer de plastics in drinkwater terechtkomen⁵¹, en voor de flora en fauna in het water en op de bodem van oppervlaktewater en zeeën⁵². Het vervangen van niet-afbreekbare plastics door bioafbreekbare plastics kan toekomstige milieuvervuiling voorkomen.
- **Genomics en gene editing kunnen bijdragen aan minder kunstmest- en pesticidegebruik (TRL: laag/middel):** Gene editing van planten kan leiden tot het ontwikkelen van planten met (a)biotische stressbestendigheid. Indien gecombineerd met het juiste landbouw managementsysteem kan de inzet van deze planten tot minder gebruik van kunstmest en gewasbeschermingsmiddelen leiden. Dit kan een verminderde afvloeit van kunstmest en

⁴⁹ KennisImpuls Waterkwaliteit (KIWK) (2022). Advies voor het monitoren van de ecologische waterkwaliteit. <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202022/STOWA-KIWK%20%202022-02%20advies%20monitoren.pdf>; Koninklijk Nederlands Waternetwerk (KNW) (2020). Snelle DNA-scan diatomeeën toont ecologische waterkwaliteit. <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/snelle-dna-scan-diatomeeën-toont-ecologische-waterkwaliteit>

⁵⁰ AGRO&CHEMIE (2022). Jubilerend HAN BioCentre toont de kracht van de combinatie. <https://www.agro-chemie.nl/artikelen/jubilerend-han-biocentre-toont-de-kracht-van-de-combinatie/>

⁵¹ WHO. (2019). Microplastics in drinking-water. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241516198>

⁵² Issac, M. & Kandasubramanian. (2021). Effect of microplastics in water and aquatic systems. *Environmental Science Pollution Research International*, 28(16), 19544-19562. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13184-2>

gewasbeschermingsmiddelen in het water als gevolg hebben en daarmee een verbeterde waterkwaliteit.

Deze voorbeelden sluiten aan bij de missie Klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied, ten eerste via MMIP C4: meerdere LST's kunnen bijdragen aan het verbeteren van de waterkwaliteit door monitoring van de kwaliteit en filtering van schadelijke stoffen.

Tabel 13 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Biokatalyse	Biochips en biosensoren	Biofabricatie	Gene editing	Genomics	Industriële biotechnologie	Nanomedicijnen	Organ-on-a-chip	Stamceltechnologie	Synthetische celtechnologie
C1	Voorkomen van wateroverlast en watertekort in landelijk (en stedelijk) gebied										
C2	Ontwikkeling van klimaatbestendige land- en tuinbouwproductiesystemen										
C4	Verbeteren van de waterkwaliteit										

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

3.2.4 Misse D: Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel

LST kunnen bijdragen aan gewaardeerd, gezond en veilig voedsel voornamelijk door verbetering van planten m.b.v. gene editing, en door verbetering van de industriële voedselbereiding processen m.b.v. technieken zoals biotechnologie, bio-fabricatie, biokatalyse en synthetische cel technologie.

- **Industriële biotechnologie voor gezonde inhoudsstoffen (TRL: hoog):** Industriële biotechnologie draagt bij aan productie met behoud van inhoudsstoffen, bijv. door processen zoals fermentatie op grote schaal toe te passen.
- **Biosensoren kunnen helpen bij vroegtijdige signalering van ziekten en stoffen in het milieu en in voedsel (TRL: middel):** Biosensoren, zoals getrainde bijen, kunnen vanwege hun zeer nauwkeurige reukvermogen gebruikt worden voor ziektediagnostiek, en de detectie van vluchtige organische stoffen in het milieu en in voedsel⁵³.
- **Verbeteren grondstofefficiëntie planten d.m.v. biokatalyse en gene editing (TRL: laag/midden):** Verschillende Life Science Technologies dragen bij aan het optimaliseren van de hoeveelheid en kwaliteit van voedsel uit planten. Biokatalyse-onderzoek resulteerde de afgelopen jaren in geoptimaliseerde enzymen die bijdragen aan lagere kosten van het productieproces, betere kwaliteit van het eindproduct en een langere

⁵³ WUR (2022). InsectSense werkt met bijen voor impactvolle oplossingen. <https://www.wur.nl/nl/nieuws/insectsense-werkt-met-bijen-voor-impactvolle-oplossingen.htm>

houdbaarheid van het versproduct⁵⁴. Gene-editing kan het DNA van planten zodanig veranderen dat hun producten een verbeterde houdbaarheid heeft⁵⁵.

- **Gene editing en genomics voor optimalisatie planten en dieren (TRL: laag/middel):** Gene editing en genomics kunnen helpen om het DNA van allerlei planten en dieren te optimaliseren. Bijvoorbeeld, bij plantenrassen kunnen d.m.v. bepaalde resistentie genen mycotoxine (giftige stoffen geproduceerd door schimmels) problemen voorkomen worden. Bij dieren kan gene-editing in de toekomst bijv. mogelijk spiergroei in varkens bevorderen⁵⁶.
- **Organ-on-a-chip geeft inzicht in milieutoxicologie (TRL: middel):** Organ-on-a-chip kan inzicht bieden in hoe lichaamscellen op omgevingsfactoren reageren en of bepaalde toxicologische waarden voor mens en dier worden overschreden in omgevingen van productiesystemen.

Deze voorbeelden sluiten aan bij de missie voor gewaardeerd, gezond en veilig voedsel, met name via *MMIP D4 Ontwikkelen van een substantieel duurzamer en veiliger voedselketen*, met name door het verbeteren van de efficiëntie en output van het voedselsysteem d.m.v. innovatieve technologieën.

Tabel 14 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Biokatalyse	Biochips en biosensoren	Biofabricatie	Gene editing	Genomics	Industriële biotechnologie	Nanomedicijnen	Organ-on-a-chip	Stamceltechnologie	Synthetische celtechnologie
D2	Stimuleren van het produceren en consumeren van gezond en duurzaam voedsel										
D3	Ontwikkelen van veilige, duurzame productiesystemen zonder risico's voor de omgeving										
D4	Ontwikkelen van een substantieel duurzamer en veiliger voedselketen										

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

⁵⁴ Bilal, M. & Iqbal, H.M.M. (2019). State-of-the-art strategies and applied perspectives of enzyme biocatalysis in food sector – current status and future trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(12), 2052-2066. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1627284>

⁵⁵ Shipman, E. N., et al. (2021). Can gene editing reduce postharvest waste and loss of fruit, vegetables and ornamentals? *Horticulture research*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41438-020-00428-4>

⁵⁶ Dilger, A.C., et al. (2022). The potential for gene-editing to increase muscle growth in pigs: experiences with editing myostatin. *CABI Agriculture and Bioscience*, 3(36). <https://doi.org/10.1186/s43170-022-00106-6>; Alcalde, M., et al. (2006). Environmental biocatalysis: from remediation with enzymes to novel green processes. *Trends in Biotechnology*, 24(6), 281-287. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2006.04.002>

3.2.5 Missie E: Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren

LST kunnen bijdragen aan een duurzame en veilige Noordzee en andere wateren voornamelijk door verbetering van de waterkwaliteit m.b.v. biosensoren die de waterkwaliteit monitoren, en door plastic uit het water te filteren of te voorkomen dat plastic in het water terecht komt.

- **Biofabricatietechnologieën voor bioafbreekbaar plastic (TRL: middel):** Zoals eerder genoemd, vormt plastic afval in water een gevaar voor de menselijke gezondheid en de flora en fauna in het water. Dit geldt ook voor de zeeën. Het vervangen van niet afbreekbare plastics door bioafbreekbare plastics kan toekomstige milieuvervuiling voorkomen.
- **Gene editing van mosselen om invasieve soorten in de Noordzee tegen te houden (TRL: middel):** Gene editing kan in de toekomst mogelijk helpen om biocontrole uit te oefenen op mosselpopulaties, en zo voorkomen dat invasieve mosselpopulaties meren of zeeën overnemen⁵⁷.
- **Biosensoren om vervuiling en waterkwaliteit te monitoren (TRL: hoog):** Biosensoren kunnen ingezet worden om de Noordzee te monitoren. Mossels, bijvoorbeeld, kunnen gebruikt worden omdat deze de kleppen sluiten als ze verontreinigingen waarnemen. Door te meten of de mosselkleppen open of dicht zijn, kunnen onderzoekers vroegtijdig signalen over waterkwaliteit opvangen⁵⁸.
- **Biofabricatie helpt bij aan het filteren van zeewater (TRL: laag):** Onderzoek wordt gedaan naar mogelijkheden om stoffen te maken die (zee)water kunnen filteren. Zo is bijvoorbeeld ontdekt dat proteïnen uit eiwitten kunnen worden gebruikt voor het filteren van microplastics en zout uit zeewater⁵⁹.

Deze voorbeelden sluiten aan bij deze missie, met name bij *MMIP E1 Duurzame Noordzee*, door innovatieve monitoring en filtering van de waterkwaliteit en het voorkomen van schadelijke stoffen in de Noordzee.

Tabel 15 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Biokatalyse	Biochips en biosensoren	Biofabricatie	Gene editing	Genomics	Industriële biotechnologie	Nanomedicijnen	Organ-on-a-chip	Stamceltechnologie	Synthetische celtechnologie
E1	Balans tussen economische activiteiten op zee, zoals de opwekking van hernieuwbare energie en de productie van voedsel en de ruimtelijke en										

⁵⁷ Greene, M (2021). Turing off the genes that allow invasive mussels to spread and survive. <https://phys.org/news/2021-08-genes-invasive-mussels-survive.html>

⁵⁸ NRC (1989). Mossel met 'koptelefoon' waarschuwt voor gif. https://www.nrc.nl/nieuws/1989/11/30/mossel-met-koptelefoon-waarschuwt-voor-gif-kb_000118040-a3624713

⁵⁹ Ozden, S., et al. (2022). Egg protein derived ultralightweight hybrid monolithic aerogel for water purification. *Materials Today*, 59, 46-55.

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Biokatalyse	Biochips en biosensoren	Biofabricatie	Gene editing	Genomics	Industriële biotechnologie	Nanomedicijnen	Organ-on-a-chip	Stamceltechnologie	Synthetische celtechnologie
	ecologische draagkracht van de Noordzee										
E5	Ontwikkeling van een duurzame kust- en zeevisserij op de Noordzee										

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

3.2.6 Overige missies van LNV

Er zijn slechts enkele toepassingen van LST bekend die bijdragen aan de overige missies van LNV, en dan vooral aan de missie gerelateerd aan gezelschapsdieren.

- **Gene editing voor het optimaliseren van gezelschapsdieren (TRL: laag).** Gene editing kan ook worden ingezet om het DNA van gezelschapsdieren aan te passen. Het doel hierbij is niet om de output van de dieren te optimaliseren, maar om bijv. het karakter of de grootte van het dier zelf aan te passen⁶⁰. In landen buiten Europa is al meer onderzoek gedaan naar dit onderwerp en zijn ook al clones van huisdieren gemaakt⁶¹. In Europa valt dit type onderzoek onder de relatief strikte genetisch gemodificeerde organismen regelgeving en wordt er minder onderzoek gedaan⁶².

Tabel 16 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Biokatalyse	Biochips en biosensoren	Biofabricatie	Gene editing	Genomics	Industriële biotechnologie	Nanomedicijnen	Organ-on-a-chip	Stamceltechnologie	Synthetische celtechnologie
LNV2	Verhogen Brede Maatschappelijke Welvaart in het landelijk gebied										

⁶⁰ Singh Sohal, J. et al. (2020). Applications of genome editing in pet world. In: *Genomics and Biotechnological advances in Veterinary, Poultry, and Fisheries* (eds: Singh Mali, Y, Barh, D., Azevedo, V. & Khurana, S. M. P.), 151-162. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-04640-2>

⁶¹ Le Page, M. (2022). Gene-edited dogs created from cloned skin cells for the first time. <https://www.newscientist.com/article/2330283-gene-edited-dogs-created-from-cloned-skin-cells-for-the-first-time/>

⁶² Global Gene Editing Regulation Tracker. (2020). Gene editing on Animals mostly prohibited in European Union. <https://crispr-gene-editing-regs-tracker.geneticliteracyproject.org/european-union-animals/>; Farm Animal Breeding and Reproduction Technology Platform (FABRE TP). (2018). FABRE TP Researchers call in support of the smart and safe use of gene editing in animal breeding. <https://www.fabretp.eu/statement-gene-editing.html>

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Biokatalyse	Biochips en biosensoren	Biofabricatie	Gene editing	Genomics	Industriële biotechnologie	Nanomedicijnen	Organ-on-a-chip	Stamceltechnologie	Synthetische celtechnologie
LVN3	Doelen van de Vogel- en Habitatrichtlijn in Nederland zijn bereikt en de Nederlandse ecologische voetafdruk is gehalveerd										
LVN4	Gezelschapsdieren en dieren voor vermaak zijn fysiek en mentaal gezond										

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

3.3 Relevante initiatieven en organisaties in Nederland

In Nederland gebeurt er al veel op het gebied van LST. Met name Wageningen Universiteit & Research heeft een mondiale uitstekende reputatie als het gaat om LST gebruiken voor het verbeteren van landbouw. Ook vindt al veel biotechnologisch onderzoek (waaronder zaadveredeling) plaats in Nederland, met name rondom onderzoeksinstituten zoals de WUR en gevestigde bedrijven zoals DSM. Verder doen start-ups in dit veld het goed, zo zijn twee van de grootste start-ups voor kweekvlees zijn in Nederland gevestigd. Ook uit de kwantitatieve analyse van verschillende databases (zie Figuur 2) blijkt dat meerdere Nederlandse universiteiten, waaronder ook technische universiteiten, betrokken zijn bij projecten op Europees of Nederlands niveau. Naast de WUR, treffen we de Universiteit Utrecht en de TU Delft regelmatig aan in deze databases.

- **WUR**, vooral Wageningen Plant Research (Plant Breeding), Wageningen Livestock Research (Animal Breeding) en Wageningen Animal Nutrition Group. Deze groepen binnen Wageningen Universiteit doen onderzoek naar LST-toepassingen voor het optimaliseren van landbouw, waarbij vooral zaadveredeling een grote rol speelt. Op de Wageningen Campus is ook de technologische start-up InsectSense gevestigd, die de potentie van insecten verkent voor het oplossen van maatschappelijke uitdagingen.
- **Andere universiteiten, zoals Universiteit Utrecht, de TU Delft en Universiteit Twente.** Universiteit Utrecht doet bijvoorbeeld onderzoek naar het versnellen van biomassa afbraak door middel van enzymen. De TU Delft doet onderzoek naar het 3D-printen van complexe biomaterialen, en Universiteit Twente onderzoekt onder andere biotechnologische conversies die het mogelijk maken om crotonzuur uit afvalwater te destilleren.
- **Onderzoeksinstituten zoals Naturalis, NIOO-KNAW en KWR Water Institute.** Naturalis bijvoorbeeld onderzoekt microbiomen voor gebruik in de landbouw en aquacultuur, en doet mee aan het Europese onderzoek Biodiversity Genomics Europe, met als doel om door onderzoek naar genomics het begrip van biodiversiteit te vergroten. Het Netherlands Institute of Ecology (NIOO) – KNAW doet onder andere onderzoek naar de relatie tussen plant en bodem microbiële soorten. Het KWR Water Institute, tot slot, doet onderzoek op het gebied van hydrogenomics: het toepassen van DNA fingerprinting in afvalwater en oppervlaktewaterbeheer.

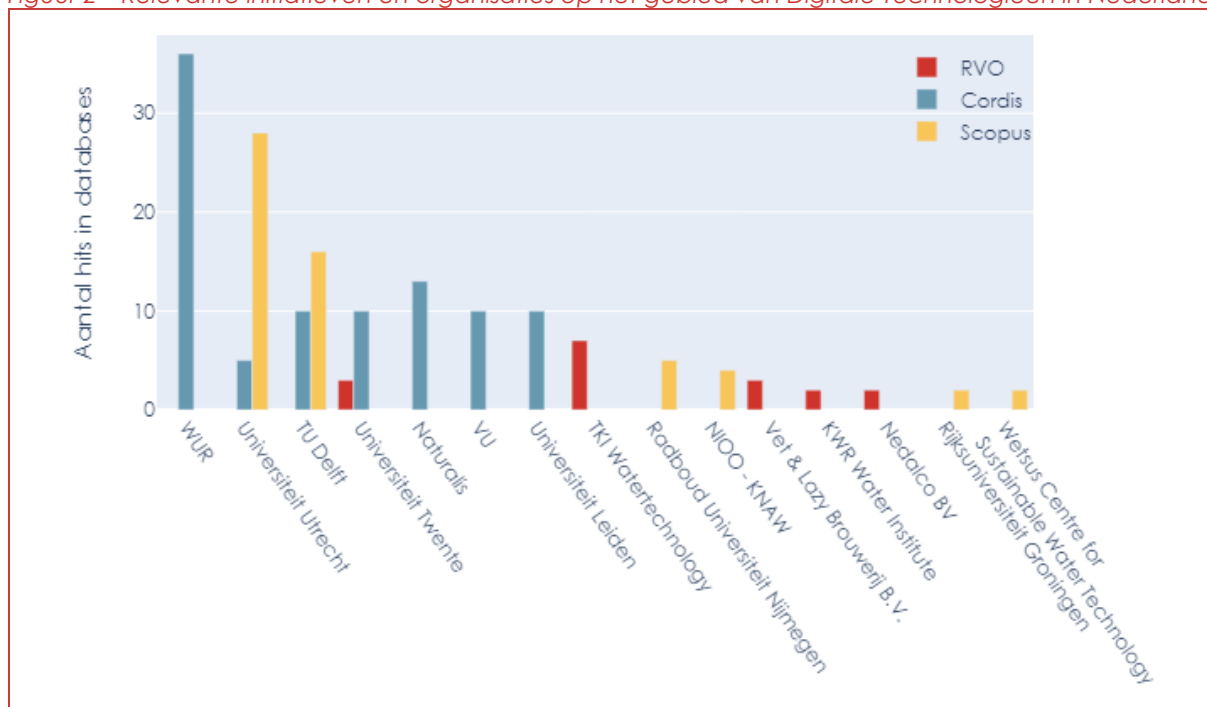
- **Brightlands Campus:** Duurzame innovatiecampus in Limburg, waarbij Greenport Venlo gericht is op hoogwaardige tuinbouw en de Chemelot Campus gericht is op verwaarding van reststromen en circulariteit.
- **Biotech Booster:** Dit is een publiek-private coalitie bestaande uit Universiteiten, Medische Centra, Hogescholen, TNO, Holland BIO (belangenvereniging voor de Nederlandse biotech sector), en biotechnologiebedrijven DSM en Janssen. Het doel van Biotech Booster is om de stap van onderzoek naar valorisatie via start-ups en bedrijven te vergemakkelijken. De innovatiehub heeft dit jaar een groeifondsinvesting van 250 miljoen gekregen.
- **HAN BioCentre:** Centre of Expertise van de Hogeschool Arnhem-Nijmegen (HAN) op het gebied van biotechnologie
- **Plantum NL:** Brancheorganisatie voor bedrijven uit de sector veredeling, vermeerdering en opkweek van zaden- en jonge planten.
- **Cellulaire Agricultuur Nederland:** consortium van o.a. Mosa Meat, Meatable, Those Vegan Cowboys, Unilever, DSM, TU Delft en de WUR. Het consortium heeft recentelijk een Groeifondsinvesting van 60 miljoen ontvangen om kweekvlees en kweekzuivel te produceren⁶³. Mosa Meat en Meatable horen bij de mondiale top van kweekvlees producenten en zijn gevestigd in Nederland. Those Vegan Cowboys produceert kaas uit gras met behulp van precisiefermentatie.
- **Bedrijven zoals DSM en Friesland Campina:** DSM heeft het Bovaer veevoer ontwikkeld, wat tot 40% reductie in methaanuitstoot door melkkoeien kan resulteren. Friesland Campina droeg bij aan het onderzoek naar dit veevoer. DSM heeft ook haar **Biotech Campus Delft** opengesteld voor andere bedrijven met als doel daar innovatie op het gebied van biotech te stimuleren. De campus richt zich op toepassingen in voeding en voedingsmiddelen, diervoer, bio-brandstoffen, farma en biobased materialen⁶⁴.
- **ORVION⁶⁵:** ORVION gebruikt biotechnologie om bodem en water te zuiveren en belangrijke micro-organismen te detecteren.

⁶³ Van Gestel. (2022). Nederland geeft 's werelds grootste subsidie aan kweekvlees. Wanneer ligt het in het schap? <https://www.trouw.nl/duurzaamheid-economie/nederland-geeft-s-werelds-grootste-subsidie-aan-kweekvlees-wanneer-ligt-het-in-het-schap~bcb6c373/>

⁶⁴ DSM (2017). DSM opent nieuw biotechnology center in Delft. https://www.dsm.com/nederland/nl_NL/nieuws/2017/2017-04-03-dsm-opent-nieuw-biotechnology-center-in-delft.html

⁶⁵ <https://orvion.nl/>

Figuur 2 Relevante initiatieven en organisaties op het gebied van Digitale Technologieën in Nederland



Technopolis Group o.b.v. database-onderzoek

3.4 Kansen voor de opgaven van LNV

- **Gewassen die hogere opbrengsten produceren met evenveel of minder inputs:** LST kunnen bijdragen aan gewassen die hogere opbrengsten produceren, wat bijdraagt aan de voedselvoorziening in Nederland en daarbuiten.
- **Klimaatbestendige gewassen:** nieuwe genetische technieken (bijv. CRISPR-CAS) kunnen leiden tot gewassen die beter bestand zijn tegen hitte en droogte en ziekten en plagen door klimaatverandering. Daarmee kan de landbouw klimaatbestendiger worden. Dit vraagt echter om wijzigingen in Europese en nationale wet- en regelgeving en om investeringen van kwekers en zaadveredelaars in nieuwe genetische technieken.
- **Technieken in opschaling die de klimaatintensiteit van landbouw verminderen:** Er zijn vele technieken in opkomst die de broeikasgasuitstoot van landbouw in Nederland kan verminderen, bijv. kweekvlees, en Bovaervoer. Deze technieken worden echter nog niet grootschalig in gebruik genomen op dit moment.
- **Nieuwe bronnen voor biomassa en biobrandstoffen kunnen de landbouw verduurzamen:** Nieuwe biograndstoffen zoals algen kunnen een potentieel grote bron voor nieuwe industriële biotechnologieprocessen zijn die sterk verduurzaamd zijn.
- **Biokatalyse, biotechnologie en stamceltechnologie kunnen de voedselproductie efficiënter maken:** door gebruik van nieuwe technologieën kunnen voedselproductieprocessen korter, energie-efficiënter en duurzamer worden, met minder giftige of vervuilende restproducten.

3.5 Bedreigingen voor de opgaven van LNV

- **Voedselveiligheid:** bij nieuwe genetische technieken (bijv. CRISPR-CAS) is er een kleine kans dat deze leiden tot onvoorziene wijzigingen elders in het genoom van gewassen, waarbij de mogelijkheid bestaat dat dit tot schadelijke gevolgen leidt voor de voedselveiligheid.

Om deze risico's te beheersen is het belangrijk dat er goede risk assessments worden uitgevoerd en er ook onderzoek wordt gedaan naar veiligheid van deze technologieën.

- **Bedreigingen voor de natuur:** de inzet van nieuwe technologieën kan ook bedreigingen met zich meebrengen voor de natuur, bijv. omtrent de vermindering van biodiversiteit. Bijv. toegenomen pesticidegebruik bij bepaalde gewassen kan de hoeveelheid pesticide in water doen toenemen, wat een gevaar is voor naburige flora en fauna, en een bedreiging voor de biodiversiteit.
- **Optimisme voor inzet LST kan (te) hoog zijn: combinatie met sociale maatregelen is nodig:** voor het behalen van de beleidsdoelen zijn de LST niet genoeg: wetenschappers waarschuwen dat uitdagingen in de landbouw en voedselvoorziening maar in beperkte mate door technologie kunnen worden opgelost. Deze technologieën toepassen in de waardeketens van voedsel kost veel tijd, energie en geld, waardoor ze niet altijd geschikt zijn voor toepassingen op grote schaal⁶⁶.
- **Gevaren van nieuwe technieken voor de natuur zijn nog niet altijd in beeld:** de toxiciteit voor de natuur van nieuwe technieken zoals nanokunstmest is nog niet volledig in kaart gebracht. Daarom raden wetenschappers aan om deze nieuwe technieken veelvuldig te testen alvorens ze in de praktijk te brengen⁶⁷.

3.6 Reflectie

Life Science Technologies hebben veel potentie om aan de missies van LNV bij te dragen. Ze dragen bij aan het veranderen van het DNA van planten en dieren, en aan het herinrichten van de landbouw- en voedselketens om ze duurzamer en veiliger te maken. Het is echter nog niet altijd mogelijk om alle gevolgen van de technologieën te overzien. Daarom is het van belang om mogelijke risico's bij het inzetten van de technologieën goed in kaart te brengen en van tevoren hierop in te spelen. Ook is het van belang om extra aandacht aan de vertaalslag van laag TRL onderzoek naar de implementatiefase te geven, omdat er veel technologie is die wel potentie heeft, maar nog niet in het veld is getest of op grotere schaal door de industrie wordt opgepakt. Tot slot is voor veel van deze technologieën het van belang dat een keuze wordt gemaakt wat betreft welke industrieën wel of niet wenselijk zijn vanuit het ministerie van LNV: denk aan de soorten gewasbeschermingsmiddelen die wel of niet worden toegestaan, en of kweekvlees of veeteelt verder wordt gepromoot. Deze keuzes vereisen vervolgens een integrale aanpak, verder dan alleen keuzes voor sleuteltechnologieën ondersteunen of niet.

⁶⁶ Shipman, E. N., et al. (2021). Can gene editing reduce postharvest waste and loss of fruit, vegetables and ornamentals? *Horticulture research*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41438-020-00428-4>

⁶⁷ Yaseen, R., et al. (2020). Nano-fertilizers: bio-fabrication, application and biosafety. *Novel research in Microbiology Journal*, 4(4), 884-990. Doi: 10.21608/nrmj.2020.107540

4 Fiche Engineering and Fabrication Technologies

4.1 Beschrijving

Engineering en Fabricatie Technologieën (EFT) zijn een verzameling van verschillende technologieën die ingezet worden voor het ontwerpen en produceren van producten.

De belangrijkste technologieën die onder de paraplu van EFT's vallen volgens het raamwerk van de KIA Sleuteltechnologieën, zijn:

- **(Opto-)mechatronica** omvat mechanische systemen die aangestuurd worden door middel van een elektronisch regelsysteem. Mechatronica is een combinatie van verschillende disciplines zoals werktuigbouwkunde, elektrotechniek en besturingstechniek. Aan mechatronische systemen kunnen optische elementen toegevoegd worden zoals lasers, lenzen en sensoren, om de functionaliteit van de systemen te vergroten⁶⁸. Dit zijn optomechatronische systemen. Een voorbeeld van een optomechatronische toepassing binnen de landbouw is een tractor die door middel van software aangestuurd wordt om een akker te bewerken. Door middel van sensoren kan de tractor nauwkeurig navigeren waardoor deze volledig autonoom is ⁶⁹.
- **Additive manufacturing (AM)** is het produceren van voorwerpen door deze computergestuurd, laag voor laag op te bouwen. Additive manufacturing omhelst verschillende printtechnieken waarvan 3D-printen de meest gebruikte is. Binnen de agrarische sector kunnen machine(onderdelen) zoals drones 3D geprint worden om deze volledig aan te passen aan de beoogde werkzaamheden, zoals precisiebemesting.⁷⁰ Ook kan het gebruikt worden voor het 3D-printen van voedsel.⁷¹
- **Cyberfysieke systemen:** slimme systemen waarbij fysieke processen (bijvoorbeeld ook tussen apparaten) plaatsvinden op basis van data. Aansturing en gegevensoverdracht gebeuren veelal in real-time en via het internet. Een voorbeeld van een cyberfysiek systeem is een landbouwsysteem dat op microniveau de gewasgesteldheid controleert, en op basis daarvan de optimale hoeveelheid kunstmest en water toe kan dienen om zo de opbrengst te optimaliseren.⁷²
- **Hoge Frequentie en Mixed Signal Technologieën:** Deze technologieën omvatten allerlei hoge-frequentietoepassingen die draadloze communicatie zoals radio, radar, wifi/5G en GPS mogelijk maken. Zo kunnen bijvoorbeeld autonome robots GPS-gestuurd specifieke gewassen bemesten of oogsten (precisielandbouw).⁷³
- **Beeldtechnologieën** zijn technologieën om beelden te maken, te bewaren, te verwerken, te verbeteren, of te analyseren. Binnen de agrarische sector kunnen satellietbeelden gebruikt worden om inzicht te krijgen in de kwantiteit en kwaliteit van weiden, akkers en gewassen ⁷⁴.

⁶⁸ <https://ieeexplore.ieee.org/document/5334943>

⁶⁹ <https://www.computable.nl/artikel/informatie/awards-nieuws/7204594/1853296/agxeed-en-nobleo-scoren-met-autonomie-in-landbouw.html>

⁷⁰ <https://www.oceanz.eu/markten/food-agri/agri/>

⁷¹ <https://weblog.wur.nl/uitgelicht/3d-printen-van-voedsel/>

⁷² <https://www.controleng.com/articles/cyber-physical-system-developed-to-improve-agriculture-production/>

⁷³ <https://www.wur.nl/nl/dossiers/dossier/dossier-precisielandbouw.htm>

⁷⁴ <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2022/03/01/britse-technologie-zet-satellieten-in-voor-precisielandbouw>

- **Robotica:** Deze technologieën omvatten machines (robots) die menselijke handeling uit kunnen voeren. Robots kunnen (opto-)mechatronische elementen bevatten en aangestuurd worden door software (cyber-fysieke systemen), of voorgeprogrammeerd zijn. Robots hebben een breed potentieel binnen de landbouw en kunnen ingezet worden om bijvoorbeeld akkers onkruidvrij te houden, gewassen te planten en plantziektes op te sporen.
- **Sensoren en actuatoren:** Sensoren worden ingezet om fysieke verschijnselen waar te nemen door het meten van grootheden zoals druk en temperatuur. Deze waarnemingen kunnen omgezet worden in elektronische signalen. Actuatoren werken juist in de andere richting en voeren handelingen uit op basis van elektronische signalen⁷⁵. Sensoren en actuatoren kunnen in de landbouw toegepast worden als onderdeel van autonome robots, maar zijn ook toepasbaar voor het meten van bijvoorbeeld het grondwaterpeil en het bedienen van beregeningsystemen⁷⁶.

4.2 Bijdrage aan opgaven van LNV

Engineering & Fabrication Technologies hebben een brede toepasbaarheid en een grote potentie binnen de opgaven van LNV omdat ze processen efficiënter (sneller en met minder arbeid) en duurzamer (o.a. minder verspilling) kunnen laten verlopen. Enkele van deze technologieën worden al in verschillende mate toegepast binnen met name de kringlooplandbouw, het creëren van een klimaatneutrale landbouw- en voedselproductie, de realisatie van gezond en veilig voedsel en in mindere mate bij het realiseren van een klimaatbestendig landelijk en stedelijk gebied en een duurzame en veilige Noordzee en andere wateren. Tabel 31 geeft een overzicht van de mate waarin engineering en fabrication technologieën kunnen bijdragen aan de opgaven van LNV. In de volgende paragrafen gaan we nader in op de bijdrage van deze sleuteltechnologie aan deze opgaven.

Tabel 17 Mate waarin de sleuteltechnologie een bijdrage kan leveren aan opgaven van LNV

Opgave LNV	← kleine bijdrage grote bijdrage →				
Kringlooplandbouw					
Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie					
Klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied					
Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel					
Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren)					
Overige missies van LNV					

Beoordeling Technopolis Group

4.2.1 Missie A: Kringlooplandbouw

Binnen de missie kringlooplandbouw kunnen EFT's met name een bijdrage leveren aan MMIP A1 tot en met A4. Voor MMIP A5 is geen directe toepassing gevonden. Hieronder volgen specifieke toepassingen voor EFT's binnen de kringlooplandbouw.

⁷⁵ Kempenaar, C., et al. (2018). *Sensoren en gewasmodellen voor precisielandbouw*. Wageningen University & Research. Geraadpleegd via: <https://research.wur.nl/en/publications/sensoren-en-gewasmodellen-voor-precisielandbouw-literatuuronderzo>

⁷⁶ <https://groenkennisnet.nl/dossier/beregening-op-maat-dossier>

- **Mechanische Bioraffinage (TRL: hoog).** Bioraffinage omvat het duurzaam verwerken (scheiden) van biomassa met als doel om de biomassa te fractioneren in zijn individuele componenten zodat deze hergebruikt kunnen worden.⁷⁷ Het proces van bioraffinage bestaat uit verschillende stappen, waarbij het toepassen van mechanische scheidings-technologieën zoals centrifugeren, persen en extraheren meestal de eerste is⁷⁸. Een voorbeeld van mechanische bioraffinage is een machine die gras perst waardoor het gras afgebroken wordt tot grassap en ontsloten gras, welke beide nuttige toepassingen hebben. Mechanische bioraffinage levert een bijdrage aan het verminderen van (fossiele) nutriënten en emissies naar bodem, water en lucht (MMIP A1) en het optimaliseren van het gebruik van rest- en zijstromen (MMIP A3).

Het concept van mechanische bioraffinage is echter niet nieuw en wordt reeds toegepast. Zo zijn er al bedrijven (zoals Grassa⁷⁹) die machines ontwikkelen en gebruiken voor deze mechanische raffinage. Vandaar dat het Technology Readiness Level (TRL) hoog is. Momenteel vindt niet veel nieuwe onderzoek naar mechanische bioraffinage plaats omdat bijvoorbeeld chemische bioraffinage of bioraffinage met behulp van enzymen in vele gevallen efficiënter is.⁸⁰

- **Autonome gewas- en bodemmonitoring (optomechatronica & cyber-fysieke systemen, TRL: middel):** Door middel van het monitoren van bodems en gewassen kan de kwaliteit en gezondheid geoptimaliseerd worden. Voor het monitoren kunnen (opto-)mechatronische systemen toegepast worden. Zo kunnen autonome robots door akkers navigeren en monsters afnemen welke inzicht geven in de huidige status van de gewassen en bodem. Wanneer de kwaliteit suboptimaal is door bijvoorbeeld onkruid of ziekte, kan precisiebemesting of onkruidverdelging via geautomatiseerde systemen uitkomst bieden. Deze technologieën dragen dus niet alleen bij aan het optimaliseren van oogst, maar ook aan een reductie van het gebruik van mest (MMIP A1) en eventuele gewasbeschermingsmiddelen voor ziektebestrijding. Hierdoor draagt deze toepassing bij aan het ontwikkelen van robuuste teeltsystemen op een gezonde (landbouw)bodem (MMIP A2).

Het automatiseren van akkerbewerking- en monitoring is niet helemaal nieuw. Zo zijn er al verschillende (autonome) landbouwrobots op de markt die een toepassing hebben binnen het automatiseringsproces. Zo heeft robotbedrijf Naïo Technologies een autonome robot (Dino) ontwikkeld die onkruid bestrijdt door akkers te bewerken⁸¹. Echter betreffen het vaak nieuwe concepten welke nog niet volledig doorontwikkeld en geoptimaliseerd zijn. Zo loopt er momenteel een EU-project (ROBS4CROPS) dat gericht is op de transitie van handmatig werken met slimme voertuigen, naar volledig geautomatiseerde landbouwsystemen.⁸² Vandaar dat het TRL-niveau voor deze toepassing op middel geschat wordt.

- **3D-printen van plantaardig voedsel (Additive manufacturing, TRL: laag):** Centraal in het reduceren van broeikasgassen staat de transitie van het gebruik van dierlijke eiwitten voor voedselproductie naar plantaardige eiwitten omdat bij de productie van de

⁷⁷ <https://www.nwo.nl/projecten/raakmb07011-0>

⁷⁸ <http://www.virida.nl/sleutel-technologieen-bioraffinage.html>

⁷⁹ <https://grassa.nl/>

⁸⁰ <https://engineeringnet.be/nl/nieuws/item/20393/afvalvrije-bioraffinage-van-zeewier-met-meerdere-producten-mogelijk>

⁸¹ <https://www.naio-technologies.com/en/dino/>

⁸² <https://www.wur.nl/nl/project/nieuw-eu-project-robs4crops-versnelt-overstap-naar-robotica.htm>

laatstgenoemde minder broeikasgassen vrijkomen⁸³. Additive manufacturing technologieën zoals het 3D-printen van voedsel kunnen toegepast worden om plantaardig voedsel te produceren. Een bijkomend voordeel van 3D-printen tegenover traditionele methoden van voedselproductie is het feit dat 3D printen geen afvalstroom genereert wat resulteert in minder verspilling. Deze technologie heeft een toepassing binnen het ontwikkelen van plantaardige eiwitbronnen (A4).

Het concept additive manufacturing wordt nog niet op grote schaal toegepast binnen de voedselproductie. Wel zijn er verschillende initiatieven zoals het Digital Food Processing Initiative (DFPI) van Wageningen University & Research en de Technische Universiteit Eindhoven die onderzoek doen naar het op grote schaal toepassen van dergelijke technologieën binnen voedselproductie⁸⁴. Ondanks dat dergelijke toepassingen reeds onderzocht en op kleine schaal ontwikkeld worden, zijn er nog geen concrete toepassingen die productie op grote schaal mogelijk maakt. Vandaar dat het TRL-niveau op laag geschat wordt.

Tabel 18 geeft per technologie weer aan welke specifieke opgaven van LNV een bijdrage geleverd kan worden.

Tabel 18 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	(Opto-)Mechatronica	Additive manufacturing	Cyberfysieke systemen	Hoge frequentie en mixed signal technologieën	Beeldtechnologieën	Robotica	Sensoren & Actuatoren
A1	Verminderen fossiele nutriënten en emissies naar bodem, water en lucht							
A2	Ontwikkeling van robuuste teeltsystemen op een gezonde bodem en substraat op basis van agro-ecologische principes							
A3	Optimalisering van het hergebruik van zij- en reststromen							
A4	Ontwikkeling van nieuwe plantaardige eiwitbronnen binnen Europa voor voedsel en diervoeders							
A5	Inzicht in hoe biodiversiteit kan worden hersteld en benut in de kringlooplandbouw							

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

4.2.2 Missie B: Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie

Binnen de missie klimaatneutrale landbouw en voedselproductie kunnen EFT's met name een bijdrage leveren aan MMIP B1 tot en met B3 en B5. Voor MMIP's B4 en B6 zijn geen directe

⁸³ <https://natuurenmilieu.nl/publicatie/de-impact-van-een-plantaardig-voedingspatroon/#:~:text=Bij%20de%20productie%20van%20plantaardige,is%20dus%2051%20keer%20zoveel!>

⁸⁴ <https://www.tno.nl/nl/gezond/flexibele-vrije-vormproducten/toekomst-3d-geprint-voedsel/>

toepassing gevonden. Hieronder volgen specifieke toepassingen voor EFT's binnen de klimaatneutrale landbouw en voedselproductie.

- **Sensoren voor het meten van koolstofvastlegging in bodems (sensoren & actuatoren, TRL: laag):** Het meten van de mate van koolstofvastlegging is een lastig proces. Er is namelijk veel ruimtelijke en temporele variabiliteit, waardoor veel monsters nodig zijn om tot een enigszins betrouwbare meting te komen. Daarnaast kan de mate van koolstofvastlegging verschillen op basis van de bodemlaag die gebruikt wordt. Ook worden in labs verschillende methoden gebruikt wat vergelijken erg lastig maakt. Binnen WUR worden momenteel ontwikkelingen op het gebied van nieuwe, betrouwbaardere sensoren nauwlettend in de gaten gehouden. Een nieuwe ontwikkeling zijn de Near-Infrared (NIR)-sensoren die op basis van nabij-infrarood spectrometrie de koolstofvastlegging kunnen meten. Ook andere data- en sensortechnieken worden hiervoor overwogen.^{85,86,87} Uit de interviews met beleidsmedewerkers en technologie-experts bleek dat er veel interesse is naar dergelijke sensor- en datagebaseerde toepassingen.

- **Methaansensoren (Sensoren & actuatoren, TRL: hoog):** Wij hebben geen toepassing voor EFT's gevonden welke een directe bijdrage kan leveren aan de reductie van de uitstoot van methaan in de veehouderij (MMIP B1). Wel kunnen EFT's bijdragen aan het monitoren van methaanuitstoot en zo dus indirect een bijdrage leveren.

Er zijn reeds verschillende sensoren op de markt die het meten van methaan mogelijk maken. Daarnaast heeft Wageningen University & Research in samenwerking met TNO en RIVM een ontwikkel- en validatieprotocol opgesteld voor ammoniak en methaansensoren in de veehouderij.⁸⁸ Doordat er reeds verschillende sensoren op de markt zijn die concentraties van verschillende stoffen zoals stikstof, ammoniak en methaan kunnen meten wordt het TRL-niveau op hoog geschat. Wel wordt er telkens nieuw onderzoek verricht om van deze sensoren de levensduur te verlengen of ze te optimaliseren waardoor ze specifiekere metingen uit kunnen voeren.

- **Precisiebemesting (Opto-mechatronica en cyberfysieke systemen, TRL: laag):** Het bemesten van akkers is belangrijk omdat het ervoor zorgt dat de gewassen beter groeien waardoor de opbrengst geoptimaliseerd wordt. Bemesten heeft echter nadelige gevolgen omdat de mest een hoge concentratie lachgas heeft. De agrarische sector is verantwoordelijk voor driekwart van de totale lachgasemissie in Nederland en ongeveer de helft daarvan is afkomstig uit mest.⁸⁹ Om deze lachgasemissie te reduceren (MMIP B2), kunnen EFT's toegepast worden die gebruik maken van precisiebemesting. Precisiebemesting wil zeggen dat plaatsspecifiek bemest wordt met een variabele mestsamenstelling. Het voordeel van plaatsspecifiek bemesten in tegenstelling tot egaal bemesten, is dat alleen de gewassen die het nodig hebben bemest worden. Dit leidt tot een totale reductie van het gebruik van mest waardoor minder lachgas vrijkomt. Daarnaast wordt bij precisiebemesting de mest direct in de grond en rondom de wortel geïnjecteerd. Het injecteren in plaats van boven de grond bemesten resulteert in een verdere reductie van lachgasemissie als gevolg van bemesting. Door middel van satellietbeelden of drones uitgerust met camera's en sensoren kan door middel van een

⁸⁵ <https://edepot.wur.nl/555815>

⁸⁶ <https://www.wur.nl/nl/Publicatie-details.htm?publicationId=publication-way-353532333037>

⁸⁷ <https://edepot.wur.nl/475874>

⁸⁸ <https://edepot.wur.nl/575873>

⁸⁹ <https://www.mestverwaarding.nl/kenniscentrum/2451/dertig-vragen-en-antwoorden-over-lachgas#:~:text=Lachgas%20is%20een%20sterk%20broeikasgas,helpt%20afkomstig%20uit%20de%20bemesting.>

AI-systeem een strooikaart opgesteld worden die onkruid van gewassen onderscheidt en dus inzichtelijk maakt waar bemest dient te worden ⁹⁰. Autonome robots kunnen vervolgens ingezet worden om aan de hand van de strooikaart specifieke gebieden te bemesten. Voor deze toepassing worden dus verschillende EFT's gecombineerd om zo bij te dragen aan het reduceren van lachgasemissie als gevolg van bemesting.

Een dergelijke robot die verschillende EFT's combineert om zodoende autonoom te kunnen bemesten is in ontwikkeling door de faculteit Bio-ingenieurswetenschappen van de Universiteit Gent ⁹¹. Het concept is echter nog nieuw en de robot is nog niet op de markt. Vandaar dat de TRL voor deze toepassing geschat is op laag.

Daarnaast is uit een interview met een expert gebleken dat er niet per se nieuwe robots ontwikkeld hoeven te worden voor het realiseren van autonome precisiebemesters. Bestaande machines kunnen namelijk door het toepassen van cyberfysieke systemen autonoom functioneren. Dit is efficiënter en duurzamer omdat dergelijke, ver doorontwikkelde machines al op de markt zijn.

- **Bodemvochtsensoren (sensoren & actuatoren, TRL: hoog):** Het meten van het bodemvochtgehalte is belangrijk omdat bodemvocht van invloed is op verschillende processen. Zo heeft het invloed op de waterbeschikbaarheid voor planten en is het belangrijk voor de draagkracht van de bodem. Daarnaast bepaalt het bodemvochtgehalte de hoeveelheid zuurstof die de bodem binnen kan dringen. Hier ligt een potentiële toepassing voor het verminderen van oxidatie in de veenweidegebieden (MMIP B3), omdat het binnendringen van zuurstof in de bodem in veenweidegebied veenoxidatie veroorzaakt⁹². Veenoxidatie is onder andere schadelijk omdat er CO₂ vrijkomt tijdens het proces.

Bodemvochtsensoren kunnen dus toegepast worden in veengebieden om inzicht te krijgen in het bodemvochtgehalte. Aan de hand van deze data kunnen actuatoren sproei- en beregeningsystemen aansturen.

Er zijn reeds bodemvochtsensoren op de markt. Een voorbeeld van bodemvochtsensoren die specifiek toepasbaar zijn voor veenweidegebieden is de "AquaPin". Verder wordt er op dit gebied onderzoek gedaan naar bodemvochtsensoren die breder toepasbaar zijn binnen de agrarische sector.⁹³ Doordat er al producten op de markt zijn die gebruik maken van bodemvochtsensoren wordt het de TLR geschat op hoog.

- **Automatisering glastuinbouw (cyberfysieke systemen, TRL: middel-hoog):** Door middel van automatisering kunnen EFT's ook een bijdrage leveren aan energiebesparing en het optimaliseren van processen binnen de glastuinbouw (MMIP B5). Er zijn reeds systemen op de markt (Priva ⁹⁴) die gebruik maken van sensoren die omstandigheden zoals temperatuur, vochtigheid en lucht kunnen meten. Op basis daarvan kunnen softwaresystemen onder andere licht water en warmtesystemen aansturen om de optimale omstandigheden te creëren waardoor energieverbruik gereduceerd wordt, terwijl de opbrengst gemaximaliseerd is.

⁹⁰ <https://www.wur.nl/nl/show/precisiebemesting-voor-meer-biodiversiteit.htm>

⁹¹ <https://vilt.be/nl/nieuws/bodemscannende-landbouwrobot-levert-winst-op-voor-boer-en-milieu>

⁹² https://boerenmetenwater.nl/wp-content/uploads/2020/06/BoerenMetenWater_Nieuwsbrief5.pdf

⁹³ <https://www.agroexact.com/optimaal-beregennen/>

⁹⁴ <https://www.priva.com/nl/tuinbouw>

Er zijn reeds bedrijven op de markt die deze systemen aanbieden, echter wordt er nog onderzoek gedaan (Door onder andere TNO) naar de optimalisatie van deze processen. Zo leidt TNO momenteel on consortium dat onderzoek verricht naar nieuwe innovaties op het gebied van “smart” glastuinbouwsystemen die de sector structureel kunnen veranderen.⁹⁵ De TRL wordt hierdoor op middel-hoog geschat.

Tabel 19 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	(Opto-)Mechatronica	Additive manufacturing	Cyberfysieke systemen	Hoge frequentie en mixed signal technologieën	Beeldtechnologieën	Robotica	Sensoren & Actuatoren
B1	Reductie van de uitstoot van methaan in de veehouderij							
B2	Vermindering van de uitstoot van lachgas bij de bemesting van landbouwbodems en bij de vollegrondsteelt							
B3	Vermindering van oxidatie in de veenweidegebieden							
B4	Verhoging vastlegging van koolstof in landbouwbodems, bij vollegrondsteelt, in bos en natuur							
B5	Vermindering van energieverbruik in glastuinbouw							
B6	Toename productie en gebruik van biomassa (biograndstoffen)							

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

4.2.3 Missie C: Klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied

Binnen de missie klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied zijn geen toepassingen op het gebied van engineering en fabrication technologies gevonden die een relevante bijdrage kunnen leveren aan deze missie.

⁹⁵ <https://www.avag.nl/media/2682/11-5-innovaties-egon-janssen-die-de-tuinbouw-gaan-veranderen-1.pdf>

Tabel 20 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	(Opto-)Mechatronica	Additive manufacturing	Cyberfysieke systemen	Hoge frequentie en mixed signal technologieën	Beeldtechnologieën	Robotica	Sensoren & Actuatoren
C1	Voorkomen van wateroverlast en watertekort in landelijk (en stedelijk) gebied							
C2	Ontwikkeling van klimaatbestendige land- en tuinbouwproductiesystemen							
C4	Verbeteren van de waterkwaliteit							

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

4.2.4 Misse D: Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel

Binnen de missie Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel kunnen EFT's een bijdrage leveren aan met name MMIP D2 en D4. Voor MMIP D3 is geen relevante toepassing gevonden binnen EFT's. Hieronder volgen de specifieke toepassingen voor EFT's binnen de opgaven voor Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel.

- **Verpakkingssensoren (Sensoren & actuatoren, TRL: middel):** Jaarlijks wordt veel voedsel weggegooid omdat de ten minste houdbaar tot (THT) of tenminste te gebruiken tot (TGT) datum overschreden is. In veel gevallen is het eten echter nog gewoon goed en wordt het dus onnodig weggegooid.⁹⁶ Om deze vorm van voedselverspilling tegen te gaan, kunnen verpakkingen van voedselproducten uitgerust worden met sensoren die de voedselkwaliteit monitoren. Er zijn verschillende sensoren te onderscheiden. Maaltijdboxenleverancier HelloFresh maakt gebruik van een indicator welke met behulp van smartsensortechnologie de bewaartemperaturen van de producten monitort tijdens het transport. Op basis daarvan kan ingeschat worden hoelang de producten nog houdbaar zijn.⁹⁷ Daarnaast heeft de Technische Universiteit Eindhoven in samenwerking met onder andere Universiteit Wageningen en de Technische Universiteit Delft recent een project afgerond met als doel het ontwikkelen van een verpakkingssensor welke de consument informeert wanneer de inhoud van de verpakking niet meer houdbaar is. Dit kan op termijn de statische THT-datum vervangen en op die manier voedselverspilling tegengaan.⁹⁸ Dergelijke innovatieve verpakkingssensoren worden in beperkte mate door enkele bedrijven toegepast. De technologie is nog vol op in ontwikkeling en nog niet op grote schaal toepasbaar. Daarom wordt het TRL-niveau op middel geschat.

⁹⁶ <https://www.foodnavigator.com/Article/2020/02/04/Nestle-signs-food-waste-pact-targeting-consumption-dates-on-pack>

⁹⁷ <https://www.foodlog.nl/artikel/keep-it-houdt-eten-uit-de-vuilnisbak/>

⁹⁸ <https://topsectoragrifood.nl/wp-content/uploads/2017/05/HT-17215-Annual-Report-2018-HT17215smartmaterials-final.pdf>

- **Eetbare drones (robotica, TRL-niveau: laag):** Sinds een aantal jaar worden er drones ontwikkeld waarvan de vleugels gemaakt zijn van bijvoorbeeld gepofte rijstwafels of andere voedingsmiddelen. Hierdoor kunnen mensen die in nood verkeren maar niet bereikbaar zijn overleven.⁹⁹ Hetzelfde principe kan toegepast worden binnen de bijvoorbeeld de visteelt om vissen met een jachtinstinct beter te voeden en te voorzien van nutriënten zonder dat hierbij veel voedsel verloren gaat (zoals nu het geval is). Daarnaast kunnen de eetbare drones kleine sensoren of chips bevatten waardoor de dieren die de drone eten uitgebreid gemonitord kunnen worden. Deze toepassing zou ook voordelen kunnen hebben voor Missie E en LNV 3 (de vogel- en habitatrichtlijn). De toepassing specifiek gericht op dieren wordt op dit moment nog niet (op grote schaal) ontwikkelt, waardoor het TRL-niveau laag is.
- **Automatisering van productiesystemen (Robotica en opto-mechatronica, TRL: middel):** automatisering van het oogsten van gewassen in land- en tuinbouw leidt tot duurzamere productiesystemen.¹⁰⁰ Sensoren en robots (opto-mechatronica) kunnen het sorteringsproces versnellen waardoor voedsel sneller verwerkt en gedistribueerd kan worden waardoor het beter vers en dus langer houdbaar blijft. Sensoren die nauwkeurig de kwaliteit meten van producten meten kunnen ingezet worden voor de aansturingen van een sorteringsproces op basis van kwaliteit. Bij appelteelt bijvoorbeeld kunnen de slechtere exemplaren gescheiden worden zodat deze eerder bij de consument belanden, of verwerkt worden in producten zoals appelmoes.¹⁰¹ Hierdoor worden er minder producten verspild.

Tabel 21 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	(Opto-)Mechatronica	Additieve manufacturing	Cyberfysieke systemen	Hoge frequentie en mixed signal technologieën	Beeldtechnologieën	Robotica	Sensoren & Actuatoren
D2	Stimuleren van het produceren en consumeren van gezond en duurzaam voedsel							
D3	Ontwikkelen van veilige, duurzame productiesystemen zonder risico's voor de omgeving							
D4	Ontwikkelen van een substantieel duurzamer en veiliger voedselketen							

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

⁹⁹ <https://www.dronewatch.nl/2022/11/08/drone-met-eetbare-vleugels-moet-uitkomst-bieden-tijdens-noodsituaties/>

¹⁰⁰ <https://kia-landbouwwatervoedsel.nl/slimme-verpakkingen-en-sensoren-binden-de-strijd-aan-met-de-voedselverspilling/>

¹⁰¹ <https://www.mijnzakengids.nl/technologie-maakt-voedselketen-duurzamer/>

4.2.5 Missie E: Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren

Binnen de missie duurzame en veilige Noordzee en andere wateren EFT's een bijdrage leveren aan zowel MMIP E1 als E5. Hieronder volgen de specifieke toepassingen voor EFT's binnen de opgaven voor een duurzame en veilige Noordzee en andere wateren.

- **Real-time data leveranciers (Sensoren & actuatoren, TRL: middel):** Vissersboten kunnen uitgerust worden met innovatieve sensoren om real-life data te genereren over de mate van visvangst, vissamenstelling en wat de meest interessante visgronden zijn. Het genereren van deze data kan door middel van het toepassen van Remote Electronic Monitoring (REM) technologieën. Deze technologie omvat een reeks geïntegreerde sensoren zoals GPS en versnellingsensoren. Deze data kunnen bijdragen aan het reduceren van overbevissing en bijvangst, waardoor de natuurlijke draagkracht van de wateren gewaarborgd wordt¹⁰². Zodoende kan deze toepassing een bijdrage leveren aan de ecologische draagkracht van de Noordzee en andere wateren (E1). Op EU-niveau is de European Fisheries Control Agency (EFCA) reeds gestart met het implementeren van een werkgroep gericht op het ondersteunen van lidstaten om REM-technologieën zo breed mogelijk op te nemen in het nationaal beleid ¹⁰³. Daarnaast kunnen vissersboten uitgerust worden met sonar om vissoorten te herkennen en zodoende bijvangst te reduceren. Vanwege de beperkte mate waarin deze sensoren aanwezig zijn binnen de visserij wordt het TRL-niveau op middel geschat.
- **Automatisering sorteren en kwaliteitsmetingen (Opto-mechatronica, TRL: middel)** Het is belangrijk om het visverwerkingsproces zo snel en accuraat mogelijk uit te voeren om vis vers te houden en verspilling tegen te gaan.¹⁰⁴ Om dit te realiseren kunnen optomechatronische systemen toegepast worden die vis sorteren op basis van afmeting, gewicht, soort en kwaliteit. In z'n geval sturen sensoren en actuatoren robotarmen aan die het sorteringsproces uitvoeren. Dit proces zou zelfs (gedeeltelijk) aan boord van de vissersboten uitgevoerd kunnen worden voor nog hogere efficiëntie. Machinebouwer VCU-TDC uit Urk is momenteel een systeem aan het ontwikkelen het hierboven genoemde sorteringsproces optimaliseert.¹⁰⁵ Doordat het systeem nog in ontwikkeling is en niet op grote schaal toepasbaar, wordt het TRL-niveau op middel geschat.

¹⁰² <https://ilvo.vlaanderen.be/nl/nieuws/gebruik-van-machine-vision-voor-data-in-de-boomkorvisserij>

¹⁰³ <https://www.efca.europa.eu/en/content/remote-electronic-monitoring-rem>

¹⁰⁴ <https://www.se.com/nl/nl/work/campaign/case-study/local/vcu.jsp>

¹⁰⁵ <https://www.se.com/nl/nl/work/campaign/case-study/local/vcu.jsp>

Tabel 22 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	(Opto-)Mechatronica	Additive manufacturing	Cyberfysieke systemen	Hoge frequentie en mixed signal technologieën	Beeldtechnologieën	Robotica	Sensoren & Actuatoren
E1	Balans tussen economische activiteiten op zee, zoals de opwekking van hernieuwbare energie en de productie van voedsel en de ruimtelijke en ecologische draagkracht van de Noordzee							
E5	Ontwikkeling van een duurzame kust- en zeevisserij op de Noordzee							

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

4.2.6 Overige missies van LNV

Binnen de overige missies van LNV zijn geen toepassingen gevonden voor Engineering and Fabrication Technologies.

- **Cameravallen op basis van sensoren (sensoren en actuatoren, TRL: middel/hoog):** Om doelen op het gebied van vogel- en habitatrichtlijnen te kunnen toetsen, is het belangrijk om te monitoren. Voor dieren die met name 's nachts actief zijn, is het echter lastig om dit manueel te doen. In dit geval zouden automatische camera's op basis bewegingssensoren uitkomst kunnen bieden. Dit principe is op zichzelf niet nieuw, er zijn namelijk al veel van dit soort camera's en technologieën op de markt voor recreatief gebruik. Echter is uit interviews met beleidsmedewerkers en technologie-experts gebleken dat nog lang niet altijd gebruik gemaakt wordt van deze technologie voor het monitoren van dieren in het kader van natuurbeheer en de vogel- en habitatrichtlijnen. Het TRL-niveau wordt op middel tot hoog geschat omdat de technologie in principe klaar is voor gebruik.

Tabel 23 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	(Opto-)Mechatronica	Additive manufacturing	Cyberfysieke systemen	Hoge frequentie en mixed signal technologieën	Beeldtechnologieën	Robotica	Sensoren & Actuatoren
LNV2	Verhogen Brede Maatschappelijke Welvaart in het landelijk gebied							
LNV3	Doelen van de Vogel- en Habitatrichtlijn in Nederland zijn bereikt en de Nederlandse ecologische voetafdruk is gehalveerd							

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	(Opto-)Mechatronica	Additive manufacturing	Cyberfysieke systemen	Hoge frequentie en mixed signal technologieën	Beeldtechnologieën	Robotica	Sensoren & Actuatoren
LNV4	Gezelschapsdieren en dieren voor vermaak zijn fysiek en mentaal gezond							

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

4.3 Relevante initiatieven en organisaties in Nederland

Binnen Nederland zijn er veel initiatieven en organisaties die zich bezighouden met het ontwikkelen van voornamelijk robots en intelligente autonome systemen voor de (precisie)landbouw. Uit de analyse van verschillende databases (Figuur 3) is gebleken dat voornamelijk binnen Wageningen University & Research veel gebeurt op het vlak van EFT. Naast de WUR zijn ook andere technische universiteiten (UT en TUE) naar boven gekomen als relevante organisaties. Wat verder opvalt wanneer de onderwijsinstellingen buiten beschouwing gelaten worden, is dat drie van de vier veelvoorkomende organisaties in deze analyse (TKI, KWR en Deltares) zich voornamelijk bezighouden met water(systemen). Daarnaast zijn er ook andere partijen die aan EFT werken maar niet in de geraadpleegde databases voorkomen, zoals Breda Robotics (Smart Farming & Food Processing)¹⁰⁶ en TomatoWorld (datagedreven demonstratiekas)¹⁰⁷.

- **Proeftuin voor Precisielandbouw:** deze proeftuin in Zeeland (Reusel) richt zich op de ontwikkeling en adoptie van technologie voor precisielandbouw. De proeftuin valt onder het Smart Industry Programma, o.a. de WUR, TUE, HAS Hogeschool als het Praktijkcentrum voor Precisie Landbouw werken hierin samen met enkele bedrijven.¹⁰⁸
- **Nationale Proeftuin Precisie Landbouw (NPPL):** deze proeftuin helpt zestien deelnemende agrarische bedrijven in verschillende regio's om op hun bedrijf precisielandbouw-technieken toe te passen. De WUR en de AERES Hogeschool zijn bij dit nationale initiatief – dat gefinancierd wordt door LNV – betrokken.¹⁰⁹
- **Digital Food Processing Initiative (DFPI):** Dit initiatief van de WUR en de Technische Universiteit Eindhoven biedt bedrijven inzicht in allerlei mogelijkheden, waaronder co-ontwikkeling, 'living labs', proof-of-concepts en (nationale of internationale) consortiumprojecten. Bedrijven kunnen te weten komen wat nieuwe digital food processing technologieën bieden en samen met deskundigen business cases opstellen, waardoor ze voorop kunnen lopen bij vernieuwende manieren waarop voedsel geproduceerd en verwerkt kan worden.

¹⁰⁶ https://www.breda-robotics.nl/nl_NL/projectenoverzicht/interreg-vlaanderen-nederland-smart-farming-food-processing

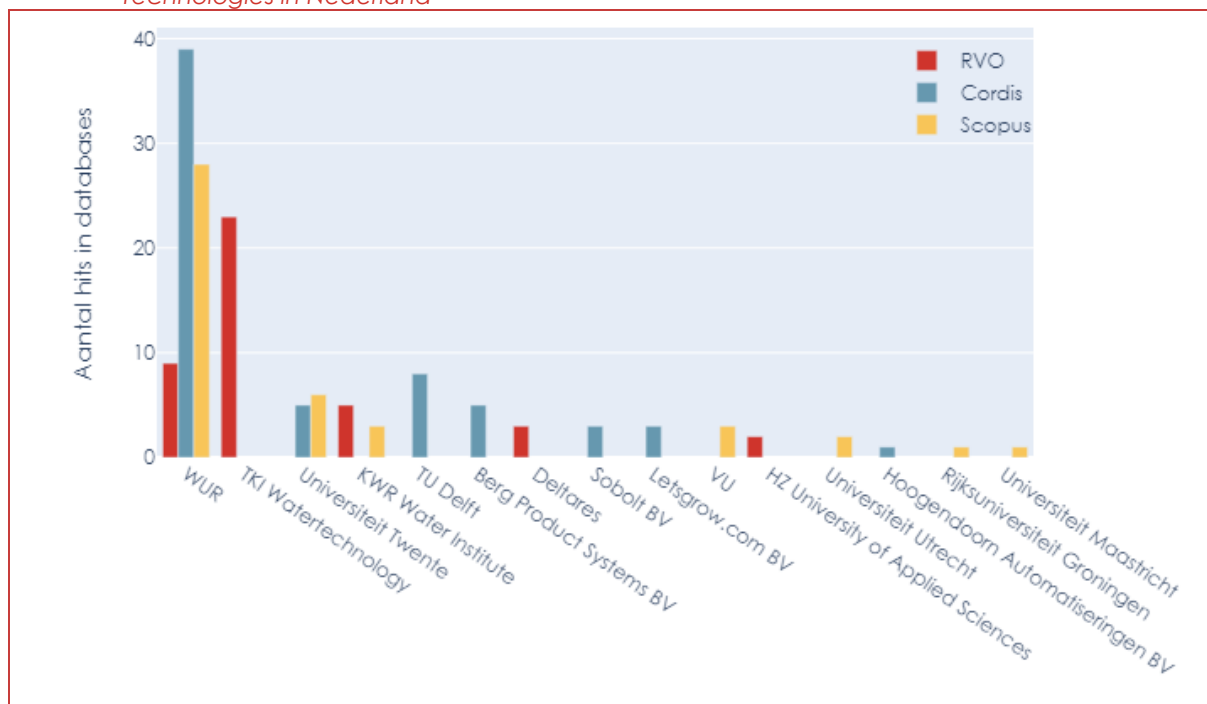
¹⁰⁷ <https://www.tomatoworld.nl/nl/over-ons>

¹⁰⁸ <https://smartindustry.nl/aan-de-slag/fieldlabs/proeftuin-voor-precisielandbouw>

¹⁰⁹ <https://www.proeftuinprecisielandbouw.nl/>

- **RAAK-subsidie voor project Gewasgroei Goed Gemeten:** In dit project werken De Haagse School, Lentiz MBO en mkb-bedrijven samen om onderzoek te doen naar de inzet van sensoren, data en data-analyse in de glastuinbouw.
- **Holland Robotics:** Landelijke robotica-community met als doel versteviging van de internationale concurrentiepositie. De community bestaat uit onder meer de vier Nederlandse technische universiteiten, VDL, DEMCON, Philips en Lely en is gericht op het samenbrengen van wetenschap, industrie en robotica-entiteiten voor een betere en intensievere samenwerking.¹¹⁰
- **Onderzoeksinstellingen of -samenwerkingsverbanden** zoals **Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI) Watertechnologie**, **KWR Water** en **Deltares**: richten zich op onderzoek over water met aandacht voor de leefomgeving. Uit de kwantitatieve analyse komt naar voren dat deze partijen vaker deelnemen aan projecten of deze zelfs coördineren.
- **ROBS4CROPS (Horizon Europe project, 2021-2024):** een project binnen het onderzoeks- en innovatieprogramma van de EU. Het consortium, dat wordt geleid door Wageningen Universiteit & Research, is een divers en dynamisch netwerk van partners die belangrijke spelers vertegenwoordigen op het gebied van robotica, landbouwrobotica, landbouw- en sociale wetenschappen, realistische landbouw en duurzaamheidsgedreven innovatiepraktijken en gezamenlijke bedrijfsmodellen.
- **FLEXIGROBOTS (Horizon Europe project 2021-2023):** FlexiGroBots is een initiatief met als doel, het realiseren van een platform voor flexibele heterogene multi-robotsystemen voor intelligente automatisering van precisielandbouwactiviteiten die landbouwers over de hele wereld vele voordelen bieden. Het FlexiGroBots Platform zal worden gevalideerd op drie pilots, namelijk; wijndruiven, koolzaad en bosbessen.

Figuur 3 Relevante initiatieven en organisaties op het gebied van Engineering & Fabrication Technologies in Nederland



¹¹⁰ <https://www.hollandrobotics.com/>

4.4 Kansen voor de opgaven van LNV

- **Robotisering als oplossing voor arbeidstekort.** Robotisering binnen de agrarische sector kan deels een oplossing bieden voor het tekort aan arbeidskrachten. Nog voor de stijgende inflatie en kunstmestprijzen in 2021 en de Russische invasie in Oekraïne van dit jaar hadden Europese boeren al moeite met het vinden van voldoende arbeidskrachten. Robotisering kan bijdragen aan een oplossing voor dit tekort omdat het fysieke arbeid ten dele vermindert.¹¹¹
- **Mechanisch is duurzaam.** Mechanische akkerbewerking door robots heeft onder andere als voordeel dat er minder gewasbeschermingsmiddelen, kunstmest en voertuigen op fossiele brandstof ingezet hoeven te worden. Dit heeft een positieve impact op de bodem (en grondwater) kwaliteit en vermindert de uitstoot van broeikasgassen.¹¹²
- **Transparantie voor consument.** Volgens geïnterviewde experts is er als gevolg van een toenemende mate van technologische ontwikkelingen, afstand ontstaan tussen de agrarische sector en de consument. Digitalisering kan deze kloof volgens de experts gedeeltelijk dichten doordat het integreren van digitale systemen meer transparantie biedt en de consument beter geïnformeerd wordt over de processen en ontwikkelingen die zicht afspelen binnen de landbouw.

4.5 Bedreigingen voor de opgaven van LNV

- **Toegankelijkheid van EFT's voor MKB.** De land- en tuinbouw is bij uitstek een MKB-sector. De sector bestaat voor een groot deel uit familie- en gezinsbedrijven. Tijd en financiële middelen voor innovaties zijn vaak beperkt. EFT vraagt echter vaak om substantiële investeringen en (nieuwe) technische vaardigheden. De kosten voor deze investering en de tijd voor het leren omgaan met deze nieuwe technologieën kunnen ertoe leiden dat de adoptie van EFT's onder (kleine) bedrijven in de sector laag blijft.
- **Gebrek aan business case voor EFT's in kleine markten.** Robotisering en implementatie van nieuwe (autonome) technieken en processen wordt gezien als een positieve ontwikkeling omdat deze doorgaans tijd- en kostenbesparend en duurzaam zijn. De ontwikkeling van dergelijke technologie richt zich doorgaans op de grotere afzetmarkten omdat daar meer geld te verdienen valt en R&D-kosten terugverdiend kunnen worden. Binnen de bloemkoolteelt bijvoorbeeld zijn er maar een beperkt aantal bedrijven actief. Voor dergelijke markten worden EFT's minder snel ontwikkeld en zijn de kosten van de EFT's vaak hoger. Producenten van robots en autonome systemen zien een minder goede business case voor dergelijke sectoren, waardoor R&D hier niet of amper aanwezig is. Hierdoor ontstaat het risico dat bepaalde sectoren achter komen te liggen op het gebied van ontwikkeling en innovatie.
- **Onevenredige kosten- winst verdeling bij hoge EFT-investeringen:** Het experimenteren met en aanschaffen van nieuwe EFT-technologieën en producten, zoals robots of sensornetwerken, kosten veel geld voor kleine ondernemingen en is risicovol omdat de beoogde opbrengst niet altijd gerealiseerd wordt. Wanneer de beoogde extra opbrengst

¹¹¹ <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/futuristic-fields-europes-farm-industry-cusp-robot-revolution>

¹¹² <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/futuristic-fields-europes-farm-industry-cusp-robot-revolution>

en adoptie in de sector wel gerealiseerd wordt, kan dit leiden tot meer aanbod en goedkopere producten in de primaire sector waardoor de investering mogelijk niet terugverdiend wordt. De baten liggen dan niet direct bij bijv. de boer die investeert, maar verderop in de keten waar meer marges behaald kunnen worden of eerder in de keten bij de technologieleveranciers.

4.6 Reflectie

Engineering and Fabrication Technologies kent relevante toepassingen voor diverse missies, vooral op het gebied van kringlooplandbouw, klimaatneutrale landbouw en voedselproductie en gewaardeerd, gezond en veilig voedsel lijken EFT's een bijdrage te kunnen leveren. Toepassingen hebben een sterke cross-over met Digitale Technologieën – bijvoorbeeld op het gebied van robotica – en in mindere mate Photonics and Light Technologies – met name als het gaat om sensoren.

Aan EFT's wordt vrij gericht gewerkt op vraagstukken die relevant zijn voor LNV. Er zijn ook diverse initiatieven, projecten en organisaties die hieraan werken. Deze sleuteltechnologie heeft bovendien een sterk raakvlak met het huidige ST1-programma dat zich richt op slimme technologie. Het TRL-niveau is doorgaans middel tot hoog, wat zich goed leent voor missiegerichte ontwikkeling op PPS-niveau. Kosten, benodigde nieuwe vaardigheden en business cases voor EFT's kunnen de ontwikkeling en adoptie van deze technologie voor diverse missies in de weg staan.

5 Fiche Chemische Technologieën

5.1 Beschrijving

Chemische technologieën (CT) hebben betrekking op het maken of breken van chemische verbindingen om vanuit bestaande grondstoffen nieuwe producten te creëren. Centraal hierin staan de samenstelling en bouw van stoffen, chemische reacties en de omstandigheden waaronder deze zich voordoen. Een goed voorbeeld van het gebruik van chemische technologieën is de productie van nieuwe voedingsmiddelen of medicijnen op grote schaal uit grondstoffen, en het (chemisch) scheiden van stoffen met als doel het hergebruiken van de bestanddelen.

De belangrijkste technologieën die onder de paraplu van CT's vallen volgens het raamwerk van de KIA Sleuteltechnologieën, zijn:

- **(Bio)processtechnologie:** draait om het verbeteren en optimaliseren van (bio)chemische processen voor de productie of analyse van (chemische) stoffen of producten. Bij processtechnologie gaat het vaak ook om het opschalen van chemische processen waarbij chemicaliën of (onderdelen) van levende cellen worden gebruikt (biochemie). Zo kunnen bepaalde schimmels of enzymen ingezet worden om processen efficiënter te laten verlopen waardoor opschaling mogelijk is.
- **Analytische technologieën:** worden gebruikt voor het meten, analyseren of onderzoeken van chemische stoffen, (bio)chemische reacties/processen of moleculaire processen. Daarnaast omvat het ook de ontwikkeling van nieuwe analysemethoden en -apparatuur. Analytische technologieën kunnen bijvoorbeeld ingezet worden voor het nauwkeurig bepalen van de samenstelling van grond of drinkwater.¹¹³
- **(Bio)katalyse:** draait om het starten, verbeteren, versnellen of vertragen van (bio)chemische reacties. Hierbij worden methoden ontwikkeld om chemische processen te optimaliseren of op te schalen. Een voorbeeld van biokatalyse binnen de landbouw is het inzetten van mycorrhiza schimmels waardoor gewassen efficiënter en sneller voedingsstoffen uit de bodem op kunnen nemen.
- **Elektrochemische processen:** draaien om het chemisch omzetten van energiedragers naar elektriciteit en omgekeerd. Technieken die hieronder vallen zijn o.a. *Power-to-Gas* waarbij elektriciteit (bijv. overschotten op het elektriciteitsnet) wordt gebruikt om gassen te produceren. Daarmee wordt als het ware energie opgeslagen in een nuttig gas, zoals waterstof. Met elektrochemische processen kan energie opgeslagen of opgewekt worden uit andere vaste, vloeibare of gasvormige energiedragers. Daaronder vallen ook batterijen. Binnen de landbouw kunnen elektrochemische processen bijvoorbeeld ingezet worden om grondwater te reinigen.^{114,115}
- **Microreactoren:** zijn zeer kleine chemische reactoren waarin (bio)chemische reacties plaatsvinden in kanaaltjes op microschaal (bijv. labs-on-a-chip). Daardoor zijn microreactoren niet veel groter dan een bankpas, luciferdoosje, munt of zelfs chip. Dit soort reactoren zijn vooral geschikt voor kleinschalige chemische processen onder fluctuerende condities. Meerdere microreactoren bij elkaar kunnen wel gebruikt worden voor de

¹¹³ <https://www.sgs.nl/nl-nl/environment-health-and-safety/testing-services/product-types/wet-chemistry-testing>

¹¹⁴ <https://www.kwrwater.nl/projecten/elektrochemische-zuiveringsprocessen/>

¹¹⁵ <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/wur-ontwikkelt-elektrochemische-methode-voor-zuivere-waterstofperoxide>

batchproductie van chemische producten. Een voorbeeld van een toepassing van een microreactor in de levensmiddelenindustrie is bijvoorbeeld het samenstellen van melk naar de voorkeuren van een klant, door bijvoorbeeld meer vetten of ijzer toe te voegen¹¹⁶

- **Scheidingstechnologie:** heeft betrekking op het scheiden van stoffen, bijvoorbeeld voor hergebruik. Door middel van bijvoorbeeld absorptiematerialen of membranen kunnen nuttige stoffen gescheiden worden van niet-nuttig of ongewenste stoffen. Binnen de landbouw kunnen chemische scheidingstechnologieën bijvoorbeeld ingezet worden voor het afbreken van biomassa (bioraffinage).¹¹⁷

5.2 Bijdrage aan opgaven van LNV

Chemische technologieën kunnen op basis van hun veelzijdigheid breed toegepast worden om zodoende een aanzienlijke bijdrage te leveren aan de door LNV gestelde beleidsdoelen. Relevante bijdragen zijn met name gevonden voor de opgaven kringlooplandbouw en in mindere mate klimaatneutrale landbouw en een klimaatbestendig landelijk gebied. Voor de overige opgaven zijn geen relevante toepassingen gevonden. Tabel 31 geeft een overzicht van de mate waarin chemische technologieën bijdragen aan de opgaven van LNV. In de volgende paragrafen gaan we nader in op de bijdrage van deze sleuteltechnologie aan deze opgaven. De volgende tabel geeft een overzicht weer van de mogelijk toepassingen van chemische technologieën binnen de verschillende missies.

Tabel 24 Mate waarin de sleuteltechnologie een bijdrage kan leveren aan opgaven van LNV

Opgave LNV	← kleine bijdrage grote bijdrage →				
Kringlooplandbouw					
Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie					
Klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied					
Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel					
Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren)					
Overige missies van LNV					

Beoordeling Technopolis Group

5.2.1 Missie A: Kringlooplandbouw

Het doel van deze missie is om de agrarische sector in Nederland substantieel te verduurzamen door middel van het reduceren van het gebruik van grond- en hulpstoffen in 2030. Chemische technologieën kunnen hieraan een bijdrage leveren door het toepassen van (bio)procestechnologieën, analyse- en detectiemethoden, elektrochemische processen, scheidingstechnologieën en door het ontwikkelen van katalysatoren. Alleen voor de (sub)categorie microreactoren zijn geen toepassingen gevonden binnen de missie kringlooplandbouw. Hieronder zijn de relevante toepassingen voor deze missie kort samengevat:

- **Verzuring en vergisting verse mest (katalyse en scheidingstechnologie, TRL: laag):** Verse mest heeft een groot aandeel aan de uitstoot van methaan en stikstof binnen de

¹¹⁶ <https://edepot.wur.nl/7338>

¹¹⁷ https://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/99240248/Felipe_A_Ferrari_Thesis_ebook.pdf

agrarische sector. Momenteel wordt er onderzoek verricht naar het reduceren van deze uitstoot (MMIP A1 & B1) door middel van het conserveren van verse mest.¹¹⁸ Het conserveren van verse mest vindt plaats in twee stappen. Eerst wordt duurzaam mierenzuur toegevoegd om de PH-waarde van de mest te verlagen zodat methaan-producerende bacteriën minder goed kunnen gedijen. Vervolgens kan de aangezuurde mest worden vergist waardoor een substantieel methaanpotentieel uit de mest verwijderd kan worden. Het onderzoek is echter pas recent van start gegaan waardoor er nog geen conclusies kunnen worden getrokken met betrekking tot de haalbaarheid. Vandaar dat het TRL-niveau op laag wordt geschat.

- **Chemisch recyclen van biopolymeren naar kunstmeststoffen (scheidingstechnologie, TRL: middel):** In de laatste jaren is er veel onderzoek gedaan naar het gebruik van bioplastics als alternatief voor synthetische plastic. Momenteel wordt er aan het Tokyo Institute of Technology onderzoek gedaan om deze bioplastics weer te recyclen tot kunstmest om zo de cirkel volledig te sluiten (MMIP A1/A3/B6). Het onderzoek richtte zich op polyisobutylcarbonaat (PIC), dat veelvuldig gebruikt wordt als alternatief voor op aardolie gebaseerde polycarbonaten. PIC kan met behulp van ammoniak afgebroken worden in een proces, genaamd ammonolyse. Dit proces levert ureum op welke een hoge concentratie stikstof bevat. Het proces ammonolyse in zichzelf is niet nieuw, de mogelijke toepassing van het proces om bioplastics volledig af te breken is wel nieuw.¹¹⁹
- **Microbiële fermentatie (katalyse, TRL: laag-middel):** Het toepassen van microbiële fermentatie op biomassa is niet nieuw, er wordt al jaren bio-ethanol geproduceerd uit biomassa (MMIP A3 en B6). De schaal waarop niet-fossiele chemicaliën verkregen worden uit de fermentatie van biomassa is nog niet groot genoeg om de productie van chemicaliën uit fossiele grondstoffen te vervangen. Binnen de WUR wordt onderzoek gedaan naar fermentatieprocessen, zoals het maken van ethanol uit CO₂ en (groene) waterstof via gasfermentatie van biomassa en het verbeteren van fermentatieprocessen via de integratie van elektrochemie in deze processen.¹²⁰ Het uiteindelijke doel is om op den duur de petrochemie te vervangen welke jaarlijks verantwoordelijk is voor de productie van 600 miljoen ton aan chemische producten. Het TRL-niveau voor deze toepassing is nog laag, er wordt nog veel onderzoek naar verricht om de schaal waarop microbiële fermentatie ingezet wordt substantieel te vergroten.
- **Elektrodialyse van mest (elektrochemisch proces en scheidingstechnologie, TRL: middel):** maakt het mogelijk om stikstof uit mest te extraheren om zo de stikstofemissie te reduceren (MMIP A1). Bij elektrodialyse wordt mest met behulp van een elektrisch spanningsveld langs halfdoorlatende membranen gepompt. Hierdoor wordt de mest gescheiden in een mineraalarme fractie, kaliumconcentraat en ammoniak. De ammoniak die vrijkomt tijdens het dialyseproces kan omgezet worden naar ammoniumsulfaat (een kunstmestvervanger) en ammoniakgas welke middels een brandstofcel kan worden omgezet naar stroom, water en stikstofgas.¹²¹ Met elektrodialyse kunnen stikstof, fosfaat en kalium uit mest gehaald worden – dit zijn de drie belangrijkste macronutriënten die planten gebruiken om te groeien.¹²² De startup Mezt is momenteel in samenwerking met de TU Delft

¹¹⁸ <https://www.sia-projecten.nl/project/kiem-gochem-mierenzuur-in-de-stal-vergisting>

¹¹⁹ <https://www.titech.ac.jp/english/news/2021/062171>

¹²⁰ <https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksinstituten/food-biobased-research/show-fbr/fermentatie-als-sleuteltechnologie-voor-de-circulaire-economie.htm>

¹²¹ <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2020/12/31/mest-ontleden-met-elektrodialyse>

¹²² <https://petrochem.nl/2021/02/23/plasma-reactor-maakt-kunstmest-bereikbaar-voor-kleine-boeren/>

en met ondersteuning van Wageningen University & Research deze toepassing voor mest aan het ontwikkelen. Het werkt samen met het Friese bedrijf Fabiton om deze techniek in de stal te brengen en met Lenntech om het systeem te produceren. De techniek is echter nog niet praktijkrijp en moet nog opgeschaald worden tot een systeem dat bij boeren geplaatst kan worden. Het TRL-niveau wordt daarom op middel wordt geschat.¹²³

- **Stikstofstrippers van mest (TRL: middel):** Scheidingstechnologieën worden gebruikt voor stikstofstrippers: deze strippen scheiden de stikstof in de vorm van ammoniak uit mest en binden het tot ammoniumsulfaat zodat het niet wordt uitgestoten met de mest. Deze techniek is onderzocht in het PPS programma Next Level Mestverwaarden van de WUR¹²⁴.
- **Plasmatechnologie voor kunstmestproductie (Elektrochemisch proces, TRL: middel):** Door de belastende effecten van kunstmest op de bodemkwaliteit en het milieu (MMIP A1), wordt er gezocht naar alternatieven voor kunstmest of het beperken van het gebruik ervan door middel van bijvoorbeeld precisiebemesting. Nieuw onderzoek van de TU Eindhoven heeft geleid tot de ontwikkeling van een kleine plasmareactor die kunstmest kan produceren op basis van zon, water en lucht. De plasmareactor werkt door middel van stikstoffixatie. Stikstof is chemisch inert en kan dus moeilijk opgenomen worden door planten. Bij stikstoffixatie wordt de stikstof omgezet in stikstofoxiden, welke met water en zuurstof reageert tot nitraat. Dit product kan worden ingezet als ingrediënt voor vloeibare (kunst)meststof. Daarnaast kan deze kunstmest op locatie geproduceerd worden. Hierdoor wordt ook verdere emissie als gevolg van transport voorkomen¹²⁵. De plasmareactor is al in de praktijk getest maar is nog niet beschikbaar op de markt. De startup 4th State Technologies is opgericht om deze technologie naar de markt te brengen. Vandaar dat het TRL op middel wordt geschat.
- **Eiwitextractie uit zeewier (katalyse en bioprocesstechnologie, TRL: laag):** Er wordt al jarenlang veel aandacht besteed aan de transitie van dierlijke eiwitten naar plantaardige eiwitten voor consumptie (MMIP A4) omdat de manier waarop dierlijke eiwitten geproduceerd worden niet duurzaam is.¹²⁶ Het gebruik van zeewier kan potentieel een bijdrage leveren aan deze transitie omdat het duurzamer geproduceerd kan worden en door plaatselijke productie (Noordzee) de ketens verkort. Voor het extraheren van eiwitten uit zeewier dienen celwanden opgebroken te worden. Momenteel zijn er echter nog geen enzymen die dit kunnen, commercieel voorhanden. Wel wordt er onderzoek verricht naar het ontwikkelen van enzymen die effectief ingezet kunnen worden als katalysator voor het openbreken van celwanden. Daarnaast zouden eiwitten met behulp van een alkalische behandeling geëxtraheerd kunnen worden, echter brengt dit het risico op beschadiging van de eiwitten met zich mee.¹²⁷ Doordat de kennis om efficiënt eiwitten uit zeewier te winnen ontbreekt, wordt het TRL-niveau voor deze toepassing op laag geschat.

¹²³ <https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2020/10/27/stikstof-beter-benutten-met-elektrodialyse>

¹²⁴ <https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksprojecten-Inv/soorten-onderzoek/kennisonline/next-level-mestverwaarden.htm>; <https://mestverwaarding.nl/kenniscentrum/3108/combinatie-van-dagontmesting-mestvergisting-en-stikstofstrappen-past-op-veel-bedrijven>

¹²⁵ <https://www.tue.nl/nieuws/nieuwsoverzicht/18-02-2021-plasmatechnologie-maakt-kunstmest-bereikbaar-voor-kleine-boeren/#:~:text=Onderzoekers%20van%20de%20TU%2Fe,alleen%20zon%2C%20water%20en%20lucht.&text=Met%20ultramoderne%20plasmatechnologie%20goedkope%20kunstmest,hel%20is%20nu%20werkelijkheid%20geworden>

¹²⁶ <https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoekprogrammas/onderzoeks-en-investeringsprogrammas/eiwittransitie.htm>

¹²⁷ <https://edepot.wur.nl/548874>

- **Eiwitextractie uit veldbonen (bioprocestechnologie, TRL: laag):** Naast zeewier, zijn veldbonen in potentie een geschikte bron van plantaardige eiwitten voor humane consumptie (MMIP A4). Veldbonen hebben als voordeel dat de productie ervan in hoge mate bijdraagt aan de verrijking van biodiversiteit (MMIP A5). Veldbonen zijn geschikt om plaatselijk te verbouwen en hebben een hoge opbrengst. Hanze's Kenniscentrum Biobased Economy¹²⁸ verricht momenteel onderzoek binnen de (bio)procestechnologie om de bonen zo optimaal mogelijk te verwerken met een zo hoog mogelijk opbrengst. Echter hebben er op dit gebied nog geen concrete innovaties plaatsgevonden op dit gebied waar door het TRL-niveau op laag geschat wordt.

De volgende tabel geeft een overzicht weer van de toepassingen van de specifieke subcategorieën binnen de voor missie A relevante MMIP's.

Tabel 25 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	(Bio)Procestechnologie	Analytische technologieën	(Bio)Katalyse	Elektrochemische processen	Microreactoren	Scheidingstechnologie
A1	Verminderen fossiele nutriënten en emissies naar bodem, water en lucht						
A2	Ontwikkeling van robuuste teeltsystemen op een gezonde bodem en substraat op basis van agro-ecologische principes						
A3	Optimalisering van het hergebruik van zij- en reststromen						
A4	Ontwikkeling van nieuwe plantaardige eiwitbronnen binnen Europa voor voedsel en diervoeders						
A5	Inzicht in hoe biodiversiteit kan worden hersteld en benut in de kringlooplandbouw						

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

5.2.2 Missie B: Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie

Het doel van deze missie is om de land- en tuinbouwsector helemaal klimaatneutraal te laten werken in 2050. Dit moet worden verwezenlijkt door enerzijds de uitstoot van broeikasgassen substantieel te verminderen, en anderzijds de CO₂-vastlegging in de bodem te verhogen. Daarnaast is het doel dat de sector in 2050 geheel onafhankelijk is van fossiele grondstoffen. Chemische sleuteltechnologieën kunnen hier een bijdrage aan leveren door het toepassen van scheidingstechnologieën, chemische katalyse en elektrochemische processen. Voor de overige chemische (sub)categorieën is geen toepassing gevonden binnen deze missie. Hieronder zijn de relevante toepassingen voor deze missie kort samengevat:

¹²⁸ <https://www.noordz.nl/2020/04/09/hanze-leidend-in-succesvolle-transitie-van-eiwit/>

- **Chemische sensoren voor het meten van emissie (TRL: hoog):** om de uitstoot van (schadelijke) stoffen zoals methaan en ammoniak te kunnen reduceren (MMIP B1), dienen deze eerst aangetoond te kunnen worden. Het aantonen en meten van de concentratie van dergelijke stoffen kan door middel van (elektro)chemische sensoren. Deze sensoren zijn echter al ver ontwikkeld en in grote mate op de markt aanwezig.^{129,130} Doordat sensoren alreeds breed toegepast worden voor het meten van concentraties van deze stoffen wordt het TRL-niveau op hoog geschat.
- **PAW-reactor voor klimaatneutrale glastuinbouw (elektrochemisch proces, TRL: middel):** Als onderdeel van het Europees innovatieprogramma Zuid-Nederland (OPZuid) is VitalFluid in samenwerking met WUR en VDL een project gestart voor het ontwikkelen van een Plasma Activated Water (PAW)-reactor welke enerzijds nitraat produceert en anderzijds het voedingswater desinfecteert¹³¹. De reactor werkt door lucht op basis van elektrische ontladingen in plasmafase te brengen. Vervolgens kan het opgenomen worden door water waarbij nitraat, nitriet en waterstofperoxide ontstaan. Vervolgens lopen de concentraties nitriet en waterstofperoxide geleidelijk terug waardoor water en nitraat overblijven als eindproduct. Op deze manier kan stikstof geproduceerd worden zonder het gebruik van aardgas, en wordt water (gedeeltelijk) automatisch gezuiverd¹³². Deze toepassingen dragen bij aan het verminderen van het energieverbruik in de glastuinbouw (MMIP B5). Het project loopt nog tot eind 2023. We schatten het TRL-niveau in als medium gezien het een innovatie- en ontwikkelingsproject met industriële partijen betreft.
- **Microbiële fermentatie (katalyse, TRL: laag):** Dit proces, zoals eerder beschreven onder missie A, kan ook een bijdrage leveren aan MMIP's B4 en B6 omdat het op deze manier het gebruik van biomassa verder geoptimaliseerd kan worden en daarnaast meer koolstofvastlegging in de landbouwbodems plaatsvindt.
- **Verzuring en vergisting verse mest (katalyse en scheidingstechnologie, TRL: laag):** Deze toepassing die reeds onder missie A beschreven is, kan een bijdrage leveren aan het reduceren van de uitstoot van stikstof en methaan (MMIP B1) door verse mest te conserveren. Daarnaast leidt dit proces tot een betere optimalisatie van de biomassa (MMIP B6) omdat het de gasopbrengst van de mest verhoogt.¹³³

De volgende tabel geeft een overzicht weer van de toepassingen van de specifieke subcategorieën binnen de voor missie B relevante MMIP's.

¹²⁹ <https://www.netwerkpraktijkbedrijven.nl/nieuws/stalmetingen-van-concentraties-naar-emissies>

¹³⁰ <https://7solutions.nl/blog/uitstoot-van-gassen-ammonia-nh3-op-de-boerderij>

¹³¹ https://www.stimulus.nl/opzuid/avada_portfolio/plasma-technologie-voor-stikstof-fixeren-en-desinfecteren-van-voedingswater-in-de-glastuinbouw/

¹³² https://www.stimulus.nl/opzuid/avada_portfolio/plasma-technologie-voor-stikstof-fixeren-en-desinfecteren-van-voedingswater-in-de-glastuinbouw/

¹³³ <https://www.sia-projecten.nl/project/kiem-gochem-mierenzuur-in-de-stal-vergisting>

Tabel 26 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	(Bio)Procestechnologie	Analytische technologieën	(Bio)Katalyse	Elektrochemische processen	Microreactoren	Scheidingstechnologie
B1	Reductie van de uitstoot van methaan in de veehouderij						
B2	Vermindering van de uitstoot van lachgas bij de bemesting van landbouwbodems en bij de vollegrondsteelt						
B3	Vermindering van oxidatie in de veenweidegebieden						
B4	Verhoging vastlegging van koolstof in landbouwbodems, bij vollegrondsteelt, in bos en natuur						
B5	Vermindering van energieverbruik in glastuinbouw						
B6	Toename productie en gebruik van biomassa (biograndstoffen)						

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie

5.2.3 Missie C: Klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied

Deze missie is erop gericht om in 2050 een klimaatbestendig landelijk en stedelijk gebied gerealiseerd te hebben in Nederland. Chemische technologieën kunnen hier een bijdrage aan leveren op het gebied scheidingstechnologieën door middel van het gebruik van geavanceerde membranen. Voor de overige (sub)categorieën is geen relevante bijdrage gevonden voor deze missie. Hieronder zijn de relevante toepassingen voor deze missie kort samengevat:

- **Waterfiltratie door middel van membranen (scheidingstechnologie, TRL: laag-hoog):** Het gebruik van membranen voor waterfiltering met als doel het verbeteren van de waterkwaliteit (MMIP C4) is niet nieuw. Zo wordt omgekeerde osmose door middel van filters (membranen) al jaren toegepast voor zowel agrarische (het zuiveren van grondwater) als huishoudelijke (het zuiveren van leidingwater) doeleinden. Wel vinden nieuwe ontwikkelingen plaats op het gebied van geavanceerde scheidingstechnologieën door middel van membranen. Zo wordt er de laatste jaren veel onderzoek gedaan naar het ontwikkelen van membranen bestaande uit "Metal-Organic Frameworks (MOF)"¹³⁴ en "Covalent Organic Frameworks (COF)".¹³⁵ Beide behoren tot de familie van de poreuze coördinatiepolymeren (PCP) en zijn door hun afstembare poriën potentieel uitermate geschikt voor verschillende scheidingstoepassingen. Het TRL-niveau is afhankelijk van het type membraan en de status van ontwikkeling van deze membranen. MOF's bijvoorbeeld zijn nog volop in onderzoek en ontwikkeling.

¹³⁴ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894721054437#preview-section-references>

¹³⁵ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2589234722001713>

- **Edge-of-field fosfaatbinders (scheidingstechnologie, TRL: middel):** landbouwbodems bevatten veel fosfaat dat via kunstmest is aangebracht. Een overschot aan fosfaat kan afspoelen naar het oppervlaktewater wat een negatief effect op de biodiversiteit heeft en algengroei in de hand werkt. Binnen de landbouw bestaan er echter al veel technieken om de hoeveelheid fosfaat die in het oppervlaktewater terechtkomt te minimaliseren, zoals het gebruik van ijzer of aluminium drains en filters. Uit interviews met experts blijkt echter dat deze technieken niet optimaal zijn omdat ze zich veelal onder de landbouwbodems bevinden waardoor ze lastig te bereiken en te monitoren zijn.¹³⁶ Daarnaast kan de aanwezigheid van te veel drainages en filters een negatief effect hebben op de landbouwbodems. In Amerika zijn recent verschillende onderzoeken gestart met "edge-of-field" toepassingen voor het afvangen van fosfaat. Door gleuven of buffers te graven direct naast landbouwgrond en deze te vullen met ijzerzand of aluminiumslak (een bijproduct van de raffinage van vloeibaar ruwijzer naar vloeibaar staal), wordt het fosfaat aan het water onttrokken waardoor het niet in het oppervlaktewater terechtkomt.^{137, 138}

De volgende tabel geeft een overzicht weer van de toepassingen van de specifieke subcategorieën binnen de voor missie C relevante MMIP's.

Tabel 27 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	(Bio)procestechnologie	Analytische technologieën	(Bio)Katalyse	Elektrochemische processen	Microreactoren	Scheidingstechnologie
C1	Voorkomen van wateroverlast en watertekort in landelijk (en stedelijk) gebied						
C2	Ontwikkeling van klimaatbestendige land- en tuinbouwproductiesystemen						
C4	Verbeteren van de waterkwaliteit						

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie

5.2.4 Missie D: Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel

Deze missie is erop gericht om in 2030 gezond veilig en duurzaam voedsel te produceren. Voor deze missie zijn relevante chemische toepassingen gevonden op het gebied van elektrochemische processen en (bio)procestechnologie. Voor de overige technologieën zijn

¹³⁶ Hoogheemraadschap van Rijnland (2015). *Pilot effectgerichte verwijdering fosfaat bollenstreek*. Geraadpleegd via: https://www.rijnland.net/documents/700/Onderzoeksproject_bollensector.pdf

¹³⁷ Shedekar, V., S. (2020) *Performance of a Ditch-Style Phosphorus Removal Structure for Treating Agricultural Drainage Water with Aluminum-Treated Steel Slag*. Geraadpleegd via: <https://doi.org/10.3390/w12082149>

¹³⁸ Ghane, E. (2022). *Contributors to increased phosphorus loss in drainage water*. Geraadpleegd via: <https://www.canr.msu.edu/news/contributors-to-increased-phosphorus-loss-in-drainage-water-and-possible-solutions>

geen relevante toepassingen gevonden binnen deze missie. Hieronder zijn de relevante toepassingen voor deze missie kort samengevat:

- **Veilig voedsel met plasmatechnologie (Elektrochemisch proces, TRL: middel):** Een belangrijk onderdeel van een duurzame voedselproductie- en consumptie (MMIP D2) is het tegengaan van voedselverspilling. Binnen Wageningen University & Research (WUR) wordt momenteel onderzoek gedaan naar het duurzaam conserveren van voedsel door middel van plasma processing.¹³⁹ Door middel van plasma processing kunnen micro-organismen aanwezig in voedsel in hogere mate worden gedood waardoor producten zoals vlees, vis, groente en fruit langer houdbaar blijven.¹⁴⁰ Daarnaast kan plasma processing plaatsvinden op lagere temperaturen dan reguliere conservatiemethoden waardoor het proces zelf ook duurzamer verloopt.¹⁴¹ Naast WUR wordt ook binnen TU Eindhoven onderzoek gedaan naar deze nieuwe conservatiemethode. De methode is echter nog niet ver genoeg ontwikkeld om op grote schaal toegepast te worden. Hierdoor wordt het TRL-niveau op middel geschat.
- **Pulserend elektrisch veld om micro-organismen te doden (Elektrochemisch proces, TRL: middel):** Een andere innovatieve methode voor voedselconservatie (MMIP D2) is toepassen van pulserende elektrische velden om micro-organismen af te doden.¹⁴² De voornaamste voordelen zijn dat de te behandelen voedselproducten niet in chemische en fysische eigenschappen verandert en dat er relatief weinig water en energie nodig is voor het proces.¹⁴³ De techniek in zichzelf is niet nieuw, maar wordt (nog) niet op grote schaal toegepast omdat het toepassen relatief duur is in vergelijking met andere conserveringsmethoden. Momenteel doet WUR onderzoek naar het toepassen van deze techniek. Het TRL-niveau van deze toepassing wordt op middel geschat; de toepassing zelf is immers niet nieuwe, maar er is nog aanvullend onderzoek nodig om het op grote schaal toepasbaar te kunnen maken.

De volgende tabel geeft een overzicht weer van de toepassingen van specifieke subcategorieën binnen de voor missie D relevante MMIP's.

¹³⁹ <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/food-biobased-research/Expertises/Voedselverwerkings-technologie.htm>

¹⁴⁰ <https://digitaalmagazine.evmi.nl/hygienespecial-2020/vveilig-voedsel-met-plasmatechnologie/>

¹⁴¹ <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/food-biobased-research/Expertises/Voedselverwerkings-technologie.htm>

¹⁴² <https://www.wur.nl/nl/Onderzoek-Resultaten/Onderzoeksinstituten/food-biobased-research/Expertises/Voedselverwerkings-technologie.htm>

¹⁴³ <https://www.safefoodfactory.com/nl/knowledge/28-ultra-hoge-isostatische-druk/#:~:text=Conserveren%20door%20ultra%2Dhoge%20isostatische,kleurstoffen%20en%20aroma's%20intact%20blijven.>

Tabel 28 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	(Bio)processtechnologie	Analytische technologieën	(Bio)Katalyse	Elektrochemische processen	Microreactoren	Scheidingstechnologie
D2	Stimuleren van het produceren en consumeren van gezond en duurzaam voedsel						
D3	Ontwikkelen van veilige, duurzame productiesystemen zonder risico's voor de omgeving						
D4	Ontwikkelen van een substantieel duurzamer en veiliger voedselketen						

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie

5.2.5 Missie E: Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren

Het doel van deze missie is om voor 2030 een duurzame en veilige Noordzee gerealiseerd te hebben. Daarnaast zullen in 2050 ook Nederlandse rivieren, meren en intergetijdengebieden duurzaam en veilig zijn. Voor deze missie is een relevante toepassing gevonden binnen de chemische sleuteltechnologieën op het gebied van elektrochemisch processen en scheidingstechnologieën. Voor de overige technologieën zijn geen relevante toepassingen gevonden.

- **Hernieuwbare energie uit brak water (TRL: laag-middel):** Blue energy is een proces van continue duurzame stroomopwekking (MMIP E1) door het concentratieverschil tussen zoet en zout water op te heffen met behulp van membranen. Door twee soorten membranen te stapelen kunnen positief geladen deeltjes (o.a. natrium) gescheiden worden van negatief geladen deeltjes (o.a. natrium) waardoor een negatieve geladen en een positief geladen kant ontstaat (vergelijkbaar met een batterij). Deze kanten kunnen vervolgens met elkaar verbonden worden waardoor er een elektrisch spanningsveld ontstaat. Momenteel wordt er op de afsluitdijk onderzoek gedaan met behulp van een proefinstallatie.¹⁴⁴ de techniek kan dus nog niet op grote schaal toegepast worden, maar het idee is dat op den duur overal waar zoet en zout water samen komen, duurzame energie opgewekt moet kunnen worden.

De volgende tabel geeft een overzicht weer van de toepassingen van specifieke subcategorieën binnen de voor missie E relevante MMIP's.

¹⁴⁴ <https://deafsluitdijk.nl/projecten/blue-energy/hoel/>

Tabel 29 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	(Bio)proces-technologie	Analytische technologieën	(Bio)Katalyse	Elektrochemische processen	Microreactoren	Scheidingstechnologie
E1	Balans tussen economische activiteiten op zee, zoals de opwekking van hernieuwbare energie en de productie van voedsel en de ruimtelijke en ecologische draagkracht van de Noordzee						
E5	Ontwikkeling van een duurzame kust- en zeevisserij op de Noordzee						

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie

5.2.6 Overige missies van LNV

Voor deze overige missies zijn geen relevante toepassingen gevonden binnen de chemische sleuteltechnologieën.

Tabel 30 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	(Bio)proces-technologie	Analytische technologieën	(Bio)Katalyse	Elektrochemische processen	Microreactoren	Scheidings-technologie
LVN2	Verhogen Brede Maatschappelijke Welvaart in het landelijk gebied						
LVN3	Doelen van de Vogel- en Habitatrichtlijn in Nederland zijn bereikt en de Nederlandse ecologische voetafdruk is gehalveerd						
LVN4	Gezelschapsdieren en dieren voor vermaak zijn fysiek en mentaal gezond						

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie

5.3 Relevante initiatieven en organisaties in Nederland

Binnen Nederland gebeurt er op het moment al veel op het gebied van chemische technologieën. Op basis van de deskstudie is gebleken dat relevante organisaties zich vooral bezighouden met het realiseren van een duurzamere landbouw door middel van biologische teeltmethoden en kunstmest. Uit de kwantitatieve analyse van verschillende databases is daarnaast gebleken dat onderzoek en ontwikkeling vooral plaatsvindt bij de vier technische universiteiten en dat de meeste relevante organisaties vooral bezig zijn op het gebied van waterkwaliteit en duurzaam watergebruik.

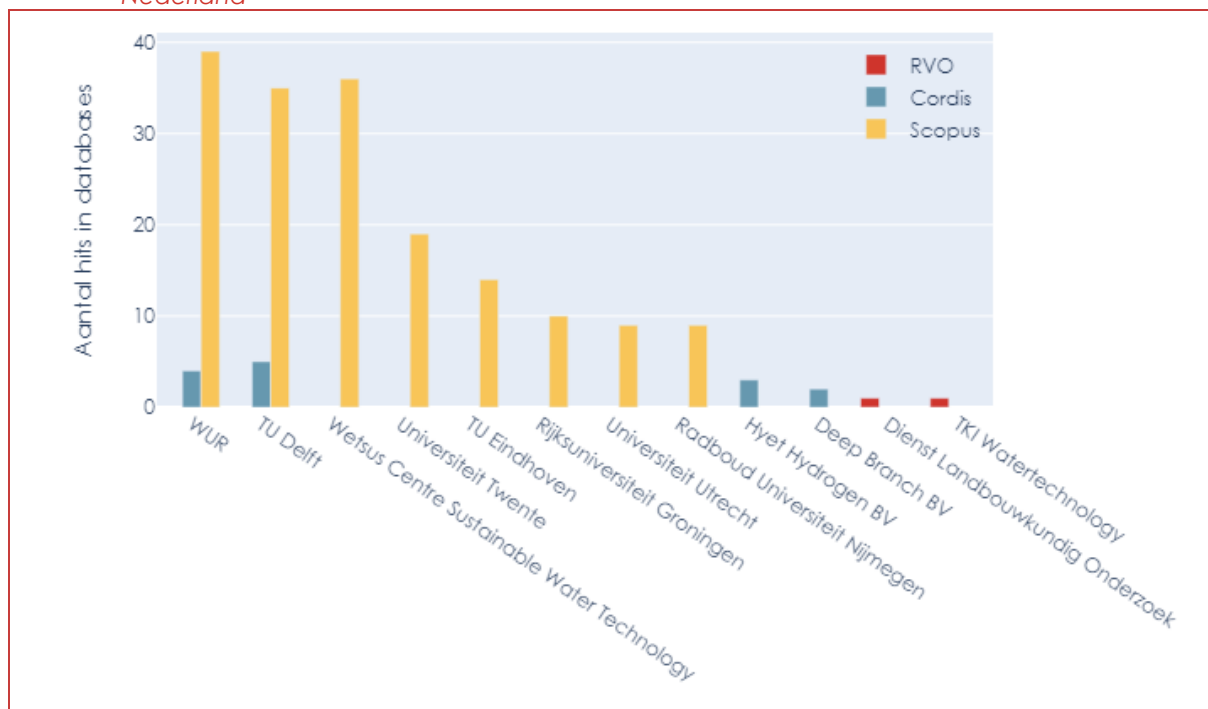
- **Chemistry NL:** is een *triple helix* samenwerkingsverband op het gebied Chemie. Chemistry NL heeft als rol bedrijven, wetenschap en de overheid samen te brengen om innovatie en het delen van kennis te stimuleren.
- Op **diverse Nederlandse universiteiten**, waaronder onder andere **TU Delft, WUR, Universiteit Twente** wordt onderzoek gedaan naar chemische processen die gebruikt kunnen voor doeleinden relevant voor de KIA-LWV. De WUR participeert bijvoorbeeld in de PPS Next Level Mestverwaarden, dat onderzoek doet naar mestvergisting en stikstofstrippen bij bedrijven¹⁴⁵.
- **KIEM GoChem Mierenzuur in de stalvergisting** ¹⁴⁶: Dit project loopt van oktober 2022 tot en met september 2023. Het doel van het project is het reduceren van methaan- en ammoniakemissie van verse mest en tegelijkertijd het verhogen van de gasopbrengst ervan. Dit wordt gedaan door verse mest te verzuren door middel van mierenzuur en het vervolgens te vergisten. Het consortium bestaat uit Hogeschool Saxion, Bonthuis varkens, Coval energy B.V., Sanovations B.V. en Twence B.V.
- **Omics in de polder:** Dit onderzoek (01-01-2023 tot 31-01-2025) is onderdeel van het onderzoeksprogramma "RAAK-publiek" en heeft als doel het ontwikkelen en toepassen van Omics-technieken voor het monitoren van biodiversiteitsveranderingen in het veenweidegebied (MMIP B3). Naast nutriënten bevat mest namelijk ook chemische stoffen die een mogelijk effect hebben op de biodiversiteit van deze gebieden. Het consortium bestaat onder andere uit het Levend Lab (Leiden Universiteit) en Polderlab Vrouwe Venne.
- **Circular Bio-based Europe Joint Undertaking (CBE JU):** Dit EU initiatief financiert projecten gericht op het versnellen van innovatie rondom nieuwe biobased producten en het naar de markt brengen van reeds bestaande biobased producten met als doel het creëren van een competitieve circulaire biobased industrie in Europa.
- **Wetsus:** is een Nederlands kenniscentrum (TO2-instituut) in Leeuwarden dat o.a. onderzoek doet naar duurzame watertechnologie.
- **Koppert:** Dit bedrijf richt zich op het realiseren van een duurzame landbouw door middel van het ontwikkelen van biologische teeltmethoden zoals het inzetten van natuurlijke vijanden tegen plagen, natuurlijke bestuiving en microbiale en biostimulanten voor een optimalere gewasteelt.
- **PAQUES:** Paques is een biotechnologiebedrijf dat zich richt op het terugdringen van waterverbruik en het produceren van duurzame energie uit afvalwater. Daarnaast is PAQUES bezig met het ontwikkelen en naar de markt brengen van polyhydroxyalkanoaat (PHA). Dit (bio)polymeer is biologisch afbreekbaar waardoor het geen resten achterlaat op het land of in het water. Het polymeer zou mogelijk ingezet kunnen worden voor de productie van coatings voor mestkorrels, mulch films voor het afdekken van landbouwgewassen en vispluis.
- **Afwenteling lachgas:** Binnen de WUR is begin januari 2022 (looptijd tot 31 december 2023) een project gestart naar het effect van koolstofmaatregelen op lachgasemissie (MMIP A2 en B2) binnen de landbouw. Het gaat in dit project om maatregelen als het verhogen van de leeftijd van grasland, toediening van organische meststoffen en gewasrotaties- en beperkte grondbewerking.

¹⁴⁵ <https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksprojecten-Inv/soorten-onderzoek/kennisonline/next-level-mestverwaarden.htm>; <https://mestverwaarding.nl/kenniscentrum/3108/combinatie-van-dagontmesting-mestvergisting-en-stikstofstrippen-past-op-veel-bedrijven>

¹⁴⁶ <https://www.sia-projecten.nl/project/kiem-gochem-mierenzuur-in-de-stal-vergisting>

- **Avantium:** Bedrijf dat bio-based kunststoffen en chemicaliën ontwikkelt en commercialiseert. Momenteel doet het bedrijf onderzoek naar het op de markt brengen van PEF, een materiaal geproduceerd op basis van hernieuwbare grondstoffen dat koolzuur beter tegenhoudt dan het gangbare PET. Op deze manier draagt het bedrijf bij aan het optimaliseren van het her- en zijgebruik van reststromen (A3), het gebruik van biomassa (B6) en het verduurzamen van de voedingsmiddelen (lees: verpakkingen) industrie (Missie D).
- **Mezt:** deze startup van TU Delft heeft een methode ontwikkelt voor enerzijds het afvangen van stikstof en anderzijds het produceren van kunstmest en elektriciteit op basis van vrijgekomen ammoniak tijdens het afvangen van de stikstof.

Figuur 4 Relevante initiatieven en organisaties op het gebied van Chemische Technologieën in Nederland



Technopolis Group o.b.v. database-onderzoek

5.4 Kansen voor de opgaven van LNV

- **Biofabricatie door hergebruik biomassa.** Er worden steeds meer technieken gevonden om door middel van (chemische) raffinage op efficiënte wijze grondstoffen uit biomassa te winnen. Volgens geïnterviewde experts kunnen deze grondstoffen gebruikt worden voor de productie van steeds meer uiteenlopende producten zoals kleding, (voedsel)verpakkingen, chemicaliën, etc. op deze manier wordt niet alleen een substantieel groter gedeelte van de totale biomassa hergebruikt, maar het draagt ook bij aan het verminderen van het gebruik van fossiele grondstoffen.
- **Minder energieverbruik door kortere productieketens vanwege lokale productie.** Door het (door)ontwikkelen van bepaalde, reeds beschreven toepassingen zoals elektrodialyse van mest en waterfiltratie op basis van omgekeerde osmose door middel van membranen, kunnen bepaalde (productie)processen op locatie plaatsvinden. Hierdoor worden ketens drastisch verminderd waardoor minder energiegebruik als gevolg van transport plaatsvindt.

5.5 Bedreigingen voor de opgaven van LNV

- **Ongewenste neveneffecten zoals (landbouw)grond vervuiling.** Het ontwikkelen en implementeren van nieuwe technologieën zoals bodemsensoren, drainagesystemen en membranen kan mogelijk risicovol zijn omdat ze bijvoorbeeld de samenstelling van de grond veranderen of na hun levensduur niet (volledig) opgeruimd worden. Zo gaf een geïnterviewde expert aan dat membranen vaak minder duurzaam zijn dan men denkt omdat ze de grond waarin ze geplaatst worden vervuilen doordat gefilterde substanties op kunnen hopen. Het is dus belangrijk om eerst de gevolgen goed in kaart te brengen voordat systemen en producten in een ecosysteem geïmplementeerd worden.
- **Regelgeving hindert meest duurzame gebruik van biomassa.** Biomassa kan op meerdere manieren ingezet worden. Zo kan het bijvoorbeeld als brandstof worden gebruikt of je kunt er grondstoffen mee terugwinnen voor het produceren van andere (non-food) toepassingen zoals kleding en bioplastic. Het probleem hierbij is echter dat bedrijven niet het meest duurzame proces, maar het meest winstgevend kiezen. Volgens geïnterviewde experts is het produceren van biopolymeren uit biomassa bijvoorbeeld duurzamer dan wanneer biomassa gebruikt wordt om biogas te produceren. Het produceren en gebruiken van biogas wordt echter meer gesubsidieerd waardoor bedrijven eerder kiezen voor de minder duurzame oplossing. Door middel van subsidies of accijnzen zouden producenten en consumenten gestimuleerd kunnen worden om vaker de meest duurzame oplossing te kiezen.
- **Gebrek aan integrale aanpak.** Binnen kennisinstellingen en universiteiten wordt veel onderzoek gedaan naar nieuwe chemische technologieën die niet specifiek ontwikkeld worden voor de landbouw en andere beleidsdoelen van LNV, maar die hier mogelijk wel toegepast kunnen worden. Er wordt pas laat in de ontwikkeling samengewerkt met gebruikers en in de praktijkomgeving, waardoor toepassingen vaak later op praktische problemen stranden. Bij de ontwikkeling van scheidingstechnologieën voor mest is dit bijvoorbeeld gebleken. Ook wordt er soms te kleinschalig getest, waardoor opschaling naar andere situaties onvoldoende lukt. Het ontbreekt mede daardoor vaak aan doorontwikkeling. Doordat onderzoekers, bedrijven, overheid en gebruikers onvoldoende of te laat met elkaar in verbinding staan, wordt er langs elkaar af gewerkt waardoor kennis onbenut blijft en vragen onbeantwoord.

5.6 Reflectie

Chemische technologieën kennen diverse toepassingen die relevant zijn voor de missies van de KIA LWV. Daarbij gaat het vooral om toepassingen van (bio)procestechnologie, (bio)katalyse en scheidingstechnologie voor de missies A en B t.a.v. kringlooplandbouw en klimaatneutrale landbouw en voedselproductie. Dergelijke toepassingen hebben vaak raakvlakken met Life Science Technologies en Engineering and Fabrication Technologies.

Het TRL-niveau van deze toepassingen verschilt sterk. Er zijn echter diverse toepassingen gevonden die op een middel-hoog TRL-niveau zitten en zich lenen voor doorontwikkeling en innovatie in PPS-verband binnen de KIA.

6 Fiche Photonics and Light Technologies

6.1 Beschrijving

De verbindende factor binnen de sleuteltechnologie *Photonics and Light Technologies* (PLT) is licht. Fotonica omvat verschillende handelingen met licht, zoals het manipuleren, detecteren, transporteren en opwekken van licht. De toepassingen van PLT variëren van relatief simpele producten en processen (bijv. verlichting) tot zeer complexe toepassingen (bijv. deeltjesdetectoren of biosensoren). R&D binnen de PLT-industrie richt zich op meerdere vlakken, van het ontwikkelen van geavanceerde op licht gebaseerde chips tot lasers.

De belangrijkste technologieën die onder de paraplu van PLT's vallen volgens het raamwerk van de KIA Sleuteltechnologieën, zijn:

- **Imaging technologie:** het ontwikkelen van efficiëntere en nauwkeurigere beeldvormingstechnieken en het verbeteren van de resolutie en betaalbaarheid van bestaande beeldvormingstechnieken. Voorbeelden in de landbouw zijn het gebruik van spectrometrie en hyperspectrale camera's voor het bepalen van het eiwitgehalte in granen, voor het detecteren van verontreinigingen op groenten en fruit en voor het monitoren van de waterkwaliteit.
- **Geïntegreerde fotonica:** richt zich op het onderzoeken van de fundamentele limieten van energiezuinige en snelle datatransmissie door middel van fotonen (lichtdeeltjes), de vereiste condities om fotonische circuits op te kunnen schalen en het ontwikkelen van toepassingen waar geïntegreerde fotonica samengaat met optische sensoren. Dergelijke circuits zijn nog sterk in opkomst en zullen waarschijnlijk eerst in datacentra en LiDAR toegepast worden.
- **Fotongeneratie- en detectietechnologie:** het ontwikkelen van fotongeneratoren, -detectoren en -circuits voor bijvoorbeeld verschillende kwantumtoepassingen, zoals kwantumcommunicatie en -sensoren, maar ook het grootschalig toepassen van LED.
- **Photonic/electronic co-integration:** het integreren van elektronica en fotonica in chips en geïntegreerde circuits. Dit kan leiden tot snelle en energie-efficiënte chips.
- **Photovoltaics:** het ontwikkelen van duurzame zonnecellen met een hoger rendement en zonder kostenverhoging.

6.2 Bijdrage aan opgaven van LNV

PLT draagt bij aan verschillende missies binnen de Kennis- en Innovatieagenda Landbouw, Water en Voedsel (KIA LWV). Met name aan de missies *Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie* (B) en *Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel* (D) kan PLT een grote bijdrage leveren. Er zijn toepassingen van PLT die bijdragen aan specifieke missies, maar er zijn ook een aantal technologieën die aan nagenoeg alle missies bijdragen. Dat zijn:

- **Sensoren:** de inzet van sensoren om een bepaalde grootte te kunnen meten en monitoren en hoe die over tijd verandert, is niet nieuw. Sensoren die gebruik maken van fotonica of andere lichttechnieken kunnen echter andere eigenschappen meten, of vele malen efficiënter, goedkoper en sneller tot metingen komen. Fotonen ervaren namelijk geen weerstand, waardoor informatie makkelijker verplaatst kan worden. Voorbeelden zijn:
 - **Spectroscopie** is het bepalen van de chemische eigenschappen van een stof, vrucht of een ander object door het spectrum te meten wanneer het object met licht beschenen wordt. Voorbeelden hiervan zijn het meten van nutriënten in mest of het bepalen van de rijpheid van groenten.

- **Optische sensoren:** kunnen basale kenmerken meten, zoals de vorm van objecten. Ook kunnen optische materialen voorzien worden van speciale coatings. Sommige coatings reageren bij aanraking met bepaalde stoffen, zoals CO₂, waardoor de optische eigenschap van de coating veranderd. Zo kan men bepalen met welke stof de sensor/coating in aanraking is gekomen.¹⁴⁷ Verder is een voorbeeld van de toepassing thermografie, waarbij temperaturen in kaart gebracht kunnen worden.
- Biosensors/lab-on-a-chip voor het detecteren van ziektes; Fotonische biosensoren kunnen verschillende biomarkers zoals eiwitten (antilichamen of antigenen), nucleïnezuren (DNA of RNA) en virussen, waarnemen. Op basis daarvan kan een diagnose gesteld worden.
- **LiDAR** is een *remote sensing*-techniek die gepulste lichtgolven uitzendt (vaak d.m.v. laserpulsen) en zo de afstand van de huidige positie van de LiDAR tot andere objecten kan meten. Door de tijd te meten tussen het vertrek van de puls en het meten van de reflectie van de puls op een object, kan de afstand tot het object worden berekend en ook bijv. de vorm van het object. LiDAR wordt veel in de automotive industrie toegepast, maar kan zeker ook in de context van de KIA LWV gebruikt worden. Enkele relevante toepassingen van LiDAR zijn:
 - Earth observation systems aan de hand van airborne LiDAR. Deze LiDAR systemen kunnen gekoppeld worden aan satellieten, drones, helikopters of vliegtuigen.
 - Terrestrial LiDAR. Deze systemen kunnen vanaf de grond atmosferische parameters (zoals de temperatuur, waterdamp- en methaan concentratie) meten.
 - Multispectral LiDAR is een combinatie tussen een “normaal” LiDAR-systeem en multispectrale sensoren. Dit betekent dat de sensoren gebruikmaken van een zeer breed golflengtebereik binnen het elektromagnetisch spectrum. Hierdoor kan de LiDAR veel meer eigenschappen bepalen en classificeren.
 - Photonic integrated chips zijn onderdelen van LiDAR-systemen.
- **Solar photovoltaics**, ook bekend als zonnecellen, komen steeds meer voor in Nederland. De laatste jaren zijn de kosten van deze technologie drastisch gedaald. In combinatie met subsidies voor de installatie heeft deze technologie een enorme opmars gemaakt in Nederland. Wat betreft de toepassingen in het kader van het beleidsterrein van het Ministerie van LNV springen de volgende innovaties in het oog:
 - Nieuwe (fotonische) materialen kunnen zorgen voor een hogere efficiëntie van de zonnecellen.¹⁴⁸
 - Transparante PV-panelen laten licht door, zodat producten in bijvoorbeeld de tuinbouw nog steeds zonlicht ontvangen, maar gebruiken ook het zonlicht om efficiënt elektrische energie te produceren in de doorzichtige zonnecellen.
 - Bi-facial zonnepanelen vangen niet alleen zonlicht op aan de voorkant van het paneel, maar ook aan de achterkant. Doordat de achterkant van het paneel ook voor energieopwekking zorgt, wordt de opbrengst per paneel hoger.
 - Photovoltaic plots is het multifunctioneel gebruiken van (landbouw)terreinen. Zo wordt onder andere onderzocht hoe een terrein zo optimaal mogelijk gebruikt kan worden voor zowel agricultuur als energieopwekking.

¹⁴⁷ <https://www.vvplus.nl/artikelen/fotonica-als-enabling-sensortechnologie-in-de-installatietechniek>

¹⁴⁸

PLT heeft een sterke verbinding met andere sleuteltechnologieën, zo kunnen PLT-toepassingen invloed hebben op *Quantum Technologies, Engineering and Fabrication Technologies* of *Digital Technologies* zoals Artificial Intelligence en vice versa. Zo komt het bijvoorbeeld voor dat een LiDAR-systeem naast *imaging technologie* ook gebruik maakt van geïntegreerde fotonica.¹⁴⁹ Tabel 31 geeft een overzicht van de mate waarin PLT bijdraagt aan de opgaven van LNV. In de volgende paragrafen gaan we nader in op de sleuteltechnologie zelf en op bijdrage van deze sleuteltechnologie aan deze opgaven.

Tabel 31 *Mate waarin de sleuteltechnologie Photonics and Light Technologies een bijdrage kan leveren aan opgaven van LNV*

Opgave LNV	← kleine bijdrage grote bijdrage →				
Kringlooplandbouw					
Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie					
Klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied					
Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel					
Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren					
Overige missies van LNV					

Beoordeling Technopolis Group

6.2.1 Missie A: Kringlooplandbouw

Bijna alle *Meerjarige Missiegedreven Innovatie Programma's* (MMIP's) binnen Missie A kunnen baat hebben bij PLT. De enige uitzondering hierop is MMIP A3. In de toekomst zullen met name sensoren een toepassing hebben in de Kringlooplandbouw. Doordat PLT het mogelijk maakt om nauwkeurig, snel en efficiënt parameters/eigenschappen van bijvoorbeeld planten te meten en identificeren, kan er veel preciezer gehandeld worden. Zo kan men gewasverlies voorkomen door vroegtijdige herkenning van een ziekte of (a)biotische stress. Naar PLT zelf en de mogelijke toepassingen wordt veel onderzoek gedaan.

Tabel 32 *Bijdrage van PLT aan Missie A Kringlooplandbouw*

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Imaging technologie	Geïntegreerde fotonica	Fotogeneratie- en detectietechnologie	Photonic/ electronic co-integration	Photovoltaics
A1	Verminderen fossiele nutriënten en emissies naar bodem, water en lucht					
A2	Ontwikkeling van robuuste teeltsystemen op een gezonde bodem en substraat op basis van agro-ecologische principes					
A3	Optimalisering van het hergebruik van zij- en reststromen					

¹⁴⁹ <https://smartphotonics.nl/blog/how-lidar-works-in-autonomous-driving-vehicles-using-photonic-integrated-circuits/>

		Imaging technologie	Geïntegreerde fotonica	Fotogeneratie- en detectietechnologie	Photonic/ elektronica co-integratie	Photovoltaïcs
MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)					
A4	Ontwikkeling van nieuwe plantaardige eiwitbronnen binnen Europa voor voedsel en diervoeders					
A5	Inzicht in hoe biodiversiteit kan worden hersteld en benut in de kringlooplandbouw					

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

Voorbeelden van concrete toepassingen van de technologie ten behoeve van de kringlooplandbouw, zijn:

- **Spectroscopie/sensoren (TRL: middel-hoog)** zoals near-infrared (NIR) spectroscopie maken het mogelijk om bodemkenmerken te meten (MMIP A2 en B2).¹⁵⁰ Een voorbeeld is het meten en monitoren van de hoeveelheid stikstof die in de bodem aanwezig is.¹⁵¹ Inzichten hierin kunnen de mate waarin bemest moet worden of op welke manier dat het beste gedaan kan worden (precisiebemesting) bepalen.¹⁵² Verder maakt spectroscopie het mogelijk de smaak, textuur, gezondheid en veiligheid van duurzame eiwitten te monitoren, om uiteindelijk een optimaal product voor de consument te produceren (MMIP A4).
- **Remote sensing d.m.v. hyper-/multispectral imaging technieken (TRL: hoog)** kan helpen bij het maken van topografische kaarten. Denk bijvoorbeeld aan het identificeren van hellingen op akkerbouwvelden of de blootstelling van de grond aan de zon. Deze informatie kan gebruikt worden om te bepalen waar bemest moet worden (MMIP A1). Verder kan (multispectral) LiDAR ook bijdragen aan het bevorderen van het begrijpen van biodiversiteit-indicatoren (MMIP A5) (TRL: middel-hoog). Toepassingen zijn het herkennen van insecten, het classificeren van verschillende soorten planten, maar ook het monitoren van invasieve exoten, het in kaart brengen van dieren in het wild en bosbeheer (MMIP A2, MMIP A5, MMIP B4).^{153,154}
- **Sensoren: Biosensoren, lab-on-a-chip of via NIR (TRL: middel)**. Om de fytosanitaire kwaliteit in de plantaardige keten te kunnen borgen, kunnen biosensoren en labs-on-a-chip gebruikt worden om te zien of een plant op de lijst van Q & RNQP¹⁵⁵ staat (MMIP A2 en D4). Met

¹⁵⁰ <https://subsites.wur.nl/nl/plb/pl-projecten/disac.htm>

¹⁵¹ <https://www.photonmission.com/2021/05/03/nitrogen-nutrient-content-analysis-of-soil-with-nironetm-spectral-sensors/>

¹⁵² <https://www.ivtinternational.com/news/agriculture/john-deere-see-spray-technology-wins-two-innovation-awards-at-ces.html>

¹⁵³ <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.855660/full>

¹⁵⁴ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425716303169?via%3Dihub>

¹⁵⁵ Fytosanitaire wetgeving is de wetgeving rondom plantengezondheid. De Plantgezondheidswet plaatst sommige ziekten en plagen in zogenoemde categorieën "gereguleerde" organismen. Quarantaine-organismen (Q) zijn ziekten en plagen die niet in de EU voorkomen. Regulated Non-Quarantine Pests (RNQP's) zijn schadelijke organismen die voorkomen in meerdere EU-landen en niet uitgeroeid hoeven te worden. Het doel van een RNQP-status is om economische schade in de productieketen van bepaalde teelten te voorkomen of te beperken. <https://www.nvwa.nl/onderwerpen/fytosanitaire-wetgeving-vanaf-14-december-2019/q-organismen>

deze technologie kunnen metingen op locatie plaatsvinden. Dat bevordert de snelheid van meten en zorgt ervoor dat bijv. bij importproducten niet voor lange tijd in quarantaine moeten. Biosensoren helpen bij het ontdekken van stress of ziektes in een vroeg stadium¹⁵⁶, waardoor de boer sneller kan ingrijpen om gewasverlies en verminderde gewaskwaliteit te beperken. Biosensoren of andere optische sensoren kunnen een ondersteunende functie hebben bij het monitoren van belangrijke factoren voor de landbouw of de groei van gewassen. Door bodemvochtigheid of mestconcentraties te meten en aan de hand daarvan te handelen kan precisielandbouw gerealiseerd worden (MMIP A2).

- **Onkruidbestrijding met behulp van lasers (laser-based weeding) (TRL: middel-hoog).** Door gebruik te maken van een autonome robot die enerzijds met behulp van camera's en AI onkruid kan herkennen en anderzijds dit onkruid met lasers kan wegbranden. Met name met het oog op biologische of agro-ecologische boerderijen kunnen dergelijke machines veel handwerk vervangen en tegelijkertijd waarborgen dat geen schadelijke stoffen in de natuur en op de gewassen terecht komen (MMIPA2, MMIPA5). Deze technologieën worden al uitgebreid getest en staan dicht bij de markt¹⁵⁷.

6.2.2 Missie B: Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie

De kerndoelstelling van de Europese Green Deal is om een klimaatneutraal continent te zijn in 2050. Aangezien de land- en tuinbouwsector hierin een belangrijke rol speelt, is het belangrijk om ook sleuteltechnologieën te benutten om klimaatneutraliteit te bereiken. In het algemeen is de glastuinbouw verder dan de akkerbouw met het integreren van fotonica. PLT kunnen een grote bijdrage leveren aan Missie B. Met uitzondering van MMIPB6 zijn er op fotonica gebaseerde toepassingen voor alle MMIP's.

Tabel 33 Bijdrage van PLT aan Missie B Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Imaging technologie	Geïntegreerde fotonica	Fotogeneratie- en detectie-technologie	Photonic/ electronic co-integration	Photovoltaics
B1	Reductie van de uitstoot van methaan in de veehouderij					
B2	Vermindering van de uitstoot van lachgas bij de bemesting van landbouwbodems en bij de vollegrondsteelt					
B3	Vermindering van oxidatie in de veenweidegebieden					
B4	Verhoging vastlegging van koolstof in landbouwbodems, bij vollegrondsteelt, in bos en natuur					
B5	Vermindering van energieverbruik in glastuinbouw					
B6	Toename productie en gebruik van biomassa (biograndstoffen)					

¹⁵⁶ <https://plantmethods.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13007-017-0233-z>

¹⁵⁷ <https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksprojecten-lnv/soorten-onderzoek/kennisonline/galiumi.htm>

- **(Hyperspectrale of NIR-) sensoren (TRL: hoog)** kunnen de unieke biologische spectrale patronen van planten herkennen (bijv. de John Deere See & Spray-technologie¹⁵⁸). De sensor “ziet” de soortspecifieke kenmerken van de plant, het systeem identificeert de plantensoort en kiest het met behulp van AI ervoor om geconcentreerd bemesting of onkruidbestrijdingsmiddel te spuiten. De gehele constructie maakt ook gebruik van robotica om onder andere het onkruid te besproeien. Dergelijke slimme bemestingstechnologieën (MMIP B2 en MMIP A1) kunnen in de toekomst ook – als het op grote schaal gebruikt kan worden en de kosten van de technologie dalen - economisch voordelig zijn. Verder zorgt precisiebemesting (i.e. efficiënter gebruik van mest) indirect ook ervoor dat er minder kunstmest geproduceerd hoeft te worden en er dus minder energie gebruikt wordt (MMIP B5). Klassieke optische sensoren kunnen ook goed gebruikt worden om bijvoorbeeld de morfologie van planten te monitoren, bijvoorbeeld om de grootte en vorm van de bladeren te meten.
- **Fotonische sensoren (TRL: laag-middel)** kunnen bijdragen aan klimaatneutrale landbouw en voedselproductie. Twee H2020-projecten ontwikkelen met behulp van lasers en spectroscopie fotonische sensoren om lucht- of luchtverontreiniging te meten.^{159,160} Deze sensoren kunnen helpen bij het ontwikkelen van een monitoringsysteem voor vervuilende stoffen, zoals broeikasgasemissies of lachgasemissies uit de veehouderij (MMIP B1 en B2). Sensoren gebaseerd op licht zijn vaak efficiënter, goedkoper en sneller. Wanneer deze sensoren toegepast worden kan dat resulteren in energiebesparingen in de glastuinbouw (MMIP B5).
- **Remote sensing (TRL: middel-hoog)** heeft binnen Missie B meerdere toepassingen. Zo kan bodem- en gewasanalyse gedaan worden met de integratie van *remote sensing*-activiteiten met (grond)sensoren en andere sleuteltechnologieën (e.g. digital, AI en drones (EFT)). Multispectrale satellietbeelden kunnen helpen om de hoeveelheid koolstof in de bodem te berekenen (MMIP B2).¹⁶¹ Met beter inzicht in de bodem- en gewaskwaliteit kunnen boeren betere opbrengstprognoses maken en ook de nutriënten beter beheren.¹⁶² Tenslotte kan bomen, bos en natuurbeheer (MMIP B4) door *remote sensing*-activiteiten beter plaatsvinden (zie ook Missie A). In plaats van dat er eens in de vijf jaar handmatig een bosinventarisatie gedaan wordt, kan door remote sensing deze meting vaker plaatsvinden. Ook is LiDAR bijvoorbeeld geschikt om de hoogte van bossen te meten en te monitoren.
- **Photovoltaics (TRL: hoog)** kunnen in verschillende vormen bijdragen aan Missie B. Zogenaamde (floating) solar farms kunnen ingezet worden op veenweides. In Denemarken ontwikkelt het bedrijf Better Energy een zonnepark op koolstofrijke laaglandgrond (veengebied), wat van landbouwgrond getransformeerd wordt naar de originele staat (MMIP B3).¹⁶³ Zonnecellen kunnen ook een belangrijke rol spelen bij energiebesparing of energieneutraliteit van de productie van agrarische producten en levensmiddelen.

¹⁵⁸ <https://www.ivtinternational.com/news/agriculture/john-deere-see-spray-technology-wins-two-innovation-awards-at-ces.html>

¹⁵⁹ <https://triage-project.info/technology H2020>

¹⁶⁰ <https://www.passepartout-h2020.eu/>

¹⁶¹ <https://www.wired.co.uk/article/perennial-carbon-capture-satellite> <https://www.perennial.earth/>

¹⁶² <https://subsites.wur.nl/nl/plb/pl-projecten/pl-2.0/satellietdatagebruik.htm>

¹⁶³ <https://www.betterenergy.com/news/better-energy-launches-solar-park-designed-for-lowlands/>

Toepassingen kunnen zowel voor energieproductie voor het eigen bedrijf, een vermindering van het energiegebruik of het creëren van een energieneutrale tuinbouw zijn.

- **Transparante en bifacial PV-materialen**¹⁶⁴ (TRL: middel) voor de glastuinbouw zijn in ontwikkeling (MMIP B5). Zodra transparante en bifacial PV-materialen even kostenefficiënt zijn als conventionele zonnepanelen, kunnen deze technologieën in de toekomst de tuinbouw helpen met het realiseren van de emissieloze kas.
- **Agrovoltaic plots (TRL: hoog)**: recent wetenschappelijk onderzoek richt zich op het positioneren van zonnepanelen om zo efficiënt mogelijk zowel zonne-energie te winnen als het productieproces van landbouw te optimaliseren. Indirecte effecten van zulke agrivoltaic plots kunnen zijn: minder droogtestress bij planten, grotere voedselproductie en minder hittestress bij PV-panelen^{165,166} (MMIP B5).
- **LED-lampen (TRL: hoog)** zijn een relatief makkelijke manier om energiebesparingen door te voeren alsmede om planten en gewassen zo optimaal mogelijk te belichten door bepaalde spectra op de planten te laten schijnen. Dit kan leiden tot een hogere opbrengsten. Vooral in de glastuinbouw kan dit enorm bijdragen aan energiebesparingen (MMIP B5).

6.2.3 Missie C: Klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied

Door de unieke ligging van Nederland is het belangrijk om waterbeheer toekomst- en klimaatbestending te maken. De afgelopen jaren is er veel wateroverlast geweest, maar hebben regio's ook last gehad van droogte en watertekorten. Voor zowel MMIP C1 en MMIP C4 biedt PLT mogelijke oplossingen.

Tabel 34 Bijdrage van PLT aan Missie C Klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Imaging technologie	Geïntegreerde fotonica	Fotogeneratie- en detectie-technologie	Photonic/ electronic co-integration	Photovoltaics
C1	Voorkomen van wateroverlast en watertekort in landelijk (en stedelijk) gebied					
C2	Ontwikkeling van klimaatbestendige land- en tuinbouwproductiesystemen					
C4	Verbeteren van de waterkwaliteit					

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

- Weersvoorspelling worden gedaan met behulp van sensoren, AI en Big Data. Voor nauwkeurigere voorspellingen is technologische vooruitgang in dataverwerking en

¹⁶⁴ <https://www.pv-magazine.com/2021/07/02/transparent-solar-panels-for-agrivoltaics/>

¹⁶⁵ <https://www.nature.com/articles/s41893-019-0364-5>

¹⁶⁶ <https://www.sheffield.ac.uk/research/harvesting-sun-twice>

metingen nodig¹⁶⁷. PLT, zoals **remote sensing**, (TRL: hoog) kunnen daaraan bijdragen (MMIP C1). Zo kan **terrestrial LiDAR** complementair aan satellieten en grondsensoren ingezet worden om betere weersvoorspellingen te doen. Satellieten en grondsensoren missen nu vaak de vaardigheid om het hele spectrum van weersystemen te monitoren.¹⁶⁸ Er is momenteel al een Terrestrial LiDAR-systeem op de markt die de missende data kan meten¹⁶⁹. **Airbone LiDAR** (bijvoorbeeld vanuit satellieten) kan een verbeterd inzicht in verschillende weerfactoren verzorgen. Zo neemt het KNMI deel aan het consortium dat ESA's Earth Explorer – Aeolus-satelliet in 2018 gelanceerd heeft. Deze satelliet brengt met behulp van LiDAR-instrumenten windprofielen beter in beeld¹⁷⁰. ESA's EarthCARE (Cloud, Aerosol and Radiation Explorer) satelliet wordt in 2023 gelanceerd om wolken, aerosolen en radiatie te kunnen meten met LiDAR en multispectral imaging. Zowel direct – door betere weersvoorspellingen – als indirect – door de meer gedetailleerde data kan binnen de meteorologie beter wetenschappelijk onderzoek gedaan worden – helpen de PLT om beter te kunnen anticiperen op (extreme) regenval (MMIP C1).

- Net zoals bij Missie A en B kunnen op fotonica gebaseerde **sensoren (TRL: Laag-middel)** helpen bij het beter in kaart brengen en monitoren van verschillende factoren en randvoorwaarden voor ecologisch functioneren (MMIPC1 en MMIPC4). Inzichten in bijvoorbeeld de waterstand, waterkwaliteit, hitte of geluid kunnen helpen bij het optimaliseren van waterbeheersystemen en waterefficiëntie^{171,172}. Efficiëntere sensoren kunnen ook opkomende probleemstoffen sneller detecteren en hun risicoprofiel beoordelen (MMIPC4 en MMIPA2).

6.2.4 Misse D: Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel

De Missie D richt zich op het ondersteunen van een duurzaam voedselproductiesysteem. De consument, de leefomgeving en de dieren hebben allen baat bij dit systeem. Alle sub-technologieën hebben toepassingen op de MMIP's.

Tabel 35 Bijdrage van PLT aan Missie D Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Imaging technologie	Geïntegreerde fotonica	Fotogeneratie- en detectie-technologie	Photonic/eletronic co-integration	Photovoltaics
D2	Stimuleren van het produceren en consumeren van gezond en duurzaam voedsel					

¹⁶⁷ Bauer, P., Thorpe, A., & Brunet, G. (2015). The Quiet Revolution of Numerical Weather Prediction. Nature, 525(7567), 47–55. <https://doi.org/10.1038/nature14956>

¹⁶⁸ LiDARMag. 2019. Not Just for Surveying: Lidar's Big Impact in Weather; How light detection and ranging technology is being used in relationship to weather. Retrieved from <https://lidarmag.com/2019/12/04/not-just-for-surveying-lidars-big-impact-in-weather/>

¹⁶⁹ <https://www.vaisala.com/en/industries-applications/weather-and-environmental/wind-lidars>

¹⁷⁰ <https://www.knmi.nl/research/satellite-observations/projects/aeolus-orbital-doppler-wind-lidar>

¹⁷¹ VIS/UV absorption en Raman spectroscopy sensing modules voor bijv. nitraat en fosfaat monitoring in water

¹⁷² <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6339088/>

		Imaging technologie	Geïntegreerde fotonica	Fotogeneratie- en detectie-technologie	Photonic/ electronic co-integration	Photovoltaïcs
MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)					
D3	Ontwikkelen van veilige, duurzame productiesystemen zonder risico's voor de omgeving					
D4	Ontwikkelen van een substantieel duurzamer en veiliger voedselketen					

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

- Een relatief makkelijke manier om binnen de voedselketen tot een lager energieverbruik te komen is door het plaatsen of vervangen van **nieuwe en efficiëntere zonnecellen (TRL: hoog)**. Bij Missie B refereerden we al naar de transparante en bifacial PV-materialen.^{173,174} Hetzelfde geldt voor de **Agrivoltaic plots**¹⁷⁵, waarbij conventionele akkerbouw, veehouderij of zonneparken samenkomen. Doordat elk van deze activiteiten economische uitkomsten heeft, kunnen agrivoltaic plots meer opleveren ten opzichte enkelvoudig gebruik van land. De indirecte effecten van agrivoltaic plots zijn ook relevant binnen de context van Missie D. Zo creëren ze oplossingen voor droogtestress bij planten, een grotere voedselproductie en minder hittestress bij PV-panelen^{176,177} (MMIP D4).
- **Biosensoren of optische sensoren (TRL: midden-hoog)** kunnen de randvoorwaarden (licht-, lucht-, waterkwaliteit) voor de voedselproductie meten om de voedselketen te optimaliseren. In een geoptimaliseerde omgeving kunnen producten groeien zodat ze de juiste smaak, textuur, macro- en micronutriënten hebben en tegelijkertijd veilig zijn (MMIP D2 en MMIP A4). Dit kan een belangrijke rol spelen bij het aantrekkelijk, voedzaam en duurzaam maken van producten voor consumenten. Dergelijke sensoren kunnen bij precisielandbouw zorgen voor water- en energiebesparingen (MMIP D4, MMIP B2 en MMIP B5). Ook zijn er pilotprojecten waar gewassen met behulp van nieuwe technologieën contactloos gemonitord worden¹⁷⁸. Contactloze en niet-destructieve methoden verstoren de groei van een gewas niet, wat vooral van pas komt bij delicate vruchten zoals tomaten. Optische sensoren worden ook in slachthuizen gebruikt om dierenwelzijn te meten. In sommige gevallen vertonen dieren lichamelijke veranderingen wanneer het welzijn slecht was. Dit kan in het slachthuis gemakkelijk gemonitord worden (MMIPD3).

¹⁷³ <https://www.pv-magazine.com/2021/07/02/transparent-solar-panels-for-agrivoltaics/>

¹⁷⁴ <https://www.tno.nl/en/technology-science/technologies/bifacial-solar-panels/>

¹⁷⁵ <https://group.vattenfall.com/press-and-media/newsroom/2022/dutch-project-to-combine-solar-and-farming>
<https://www.tno.nl/en/sustainable/renewable-electricity/sustainable-solar-land-water/solar-panels-farmland/>

¹⁷⁶ <https://www.nature.com/articles/s41893-019-0364-5>

¹⁷⁷ <https://www.sheffield.ac.uk/research/harvesting-sun-twice>

¹⁷⁸ <https://www.dehaagsehogeschool.nl/onderzoek/kenniscentra/projectdetails/groei-van-gewassen-meten-met-sensoren>

- Bij het optimaliseren van **precisielandbouw**, maar ook in de voedselverwerkingsketen kunnen **Li-Fi**¹⁷⁹ (**TRL: middel-hoog**) systemen een belangrijke rol spelen. Het Li-Fi netwerk kan snel, in *real time* en energie-efficiënt sensoren uitlezen. Dit betekent dat bij tuinbouw of indoor micro-farming de optimale mix van groeiparameters gemonitord en waar nodig aangepast kan worden (MMIP D2, MMIP D4, MMIP B5 en MMIP A4). Voor het **voedselverwerkingsproces** heeft Li-Fi toepassingen in de automatisering van apparatuur voor voedselverwerking (Li-Fi network-to-robots en machine-to-machine)¹⁸⁰. Verder zijn LED & *laser-based sorting systems* (optisch sorteren) en inspectiesystemen in de voedselverwerkingsketen goed geschikt voor het juist verpakken van voedsel.^{181,182} Al deze voorbeelden kunnen de duurzaamheid van de voedselverwerking verbeteren (MMIP D4).
- Een toepassing van **geïntegreerde fotonische sensoren** (**TRL: middel**) is dat voedselveiligheid en voedselkwaliteit beter en in *real-time* gemonitord kan worden. Verschillende Horizon 2020 projecten richten zich op het monitoren van allerlei factoren die de voedselveiligheid kunnen schaden met (MMIP B2, MMIP D2 en MMIP D3). Zo richtte het MOLOKO-project zich op het meten van voedselveiligheids-, voedselkwaliteitsparameters en toxines in de melkvoorzieningsketen.¹⁸³ Het GRACED-project ontwikkelt een sensor die in de farm-2-fork keten gebruikt kan worden om voedselkwaliteit te meten.¹⁸⁴ Zowel het h-ALO-project als het Photonfood-project ontwikkelen sensoren die microbiologische en chemische verontreinigingen kunnen detecteren¹⁸⁵. Verder kan ook het glucoseniveau bij fermentatieprocessen gemeten worden door deze sensoren.^{186,187} Vooruitgang op dit gebied kan leiden tot een uitbreiding van gezond en duurzaam voedselaanbod (MMIP D2).
- Met **Point-of-Care biosensoren kan de waterkwaliteit van aquacultuurinstallaties gecheckt worden op ziekteverwekkers** (**TRL: middel**) die mogelijk in het water aanwezig zijn.¹⁸⁸ De toepassing van biosensoren bij aquacultuur kan helpen bij het voorkomen van ziekten bij dieren (MMIP D3).
- **Optisch geïntegreerde fotonische gassensoren** kunnen gebruikt worden voor het creëren van de juiste omstandigheden voor voedselopslag of transport. Door het meten van de

¹⁷⁹ Li-Fi maakt gebruik van licht om data te versturen. Simpel gezegd bestaat een Li-Fi-systeem aan de ene kant uit een LED of andere lichtbron (zoals lasers) en aan de andere kant een lichtdetector. Een LED wordt door een bepaalde sensor of computer bestuurd om met een hoge frequentie aan en uit te gaan. Wanneer deze signalen op een rij worden gezet kan het gezien worden als een reeks aan enen en nullen. Deze reeks van veranderingen in amplitudes van de LED wordt vervolgens door een lichtdetector gedetecteerd en omgezet in een elektrisch signaal. Zo ontstaat er een verbinding tussen de LED en de lichtdetector. Zie: <https://www.ipms.fraunhofer.de/en/Components-and-Systems/Components-and-Systems-Data-Communication/Li-Fi-Data-Communication.html>

¹⁸⁰ <https://www.ipms.fraunhofer.de/en/applications/smart-industrial-solutions/smart-industrial-solutions-for-production.html#IPm2m>

¹⁸¹ <https://www.hamamatsu.com/eu/en/applications/food-sorting-and-inspection.html>

¹⁸² <https://www.photonmission.com/2021/05/03/nir-spectrometer-for-grain-identification/>

¹⁸³ <https://www.moloko-project.eu/objectives/>

¹⁸⁴ <https://graced.tech/wp-graced/>

¹⁸⁵ <https://h-alo.eu/> en <https://www.photonfood.eu/> H2020 projects to scan for contaminants

¹⁸⁶ <https://www.spectroscopyonline.com/view/bioreactor-fermentation-monitoring-with-raman-spectroscopy>

¹⁸⁷ <https://oneplanetresearch.nl/innovatie/sensors-integrated-photonics-key-food-security/>

¹⁸⁸ <https://photo-sens.eu/>

gassen in opslag- of transportruimtes kunnen vruchten of gewassen gecontroleerd rijpen en kan de voedselveiligheid geborgd worden (MMIP D4)¹⁸⁹.

- **Point-of-Care technologieën (TRL: hoog)** brengen laboratoriumtesten naar een gebruiker toe. Bij mensen kan deze technologie al gebruikt worden om vroegtijdig ziektes te ontdekken.^{190,191} Om die reden is de cross-over van deze technologie naar toepassingen voor dieren erg interessant (MMIP D3).
- Er zijn nog enkele andere manieren om dierengezondheid en dierenwelzijn te monitoren. Met **infrarood thermografie (TRL: middel)** kunnen ziektes vroegtijdig gedetecteerd worden. Door warmtepatronen uniek voor ziektes bij dieren te identificeren, kan een besmettelijke ziekte vroegtijdig ontdekt worden.¹⁹² Verder kunnen *wearable* of *ingestible* **biosensoren** onder andere het zweet, de lichaamstemperatuur, het gedrag en beweging, stress en de aanwezigheid van virussen en ziekteverwekkers bij dieren detecteren.^{193,194} Ook kunnen **optische sensoren** het gewicht van dieren meten met behulp van en AI.¹⁹⁵ Biosensoren en optische sensoren kunnen ervoor zorgen dat de veehouderij veilige producten kan leveren, de omgeving veilig is maar ook dat de gezondheid, veiligheid en het welzijn van dieren voorop staat (MMIP D3).
- Tenslotte worden op het gebied van **imaging (TRL: hoog)** veel technieken voor mensen ontwikkeld om te zorgen dat er minder impact is (denk aan minder blootstelling aan röntgenstraling).¹⁹⁶ Deze technologie kan ook gebruikt worden om dieren op een non-invasieve manier te kunnen onderzoeken.¹⁹⁷ (MMIP D3).

6.2.5 Missie E: Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren

Binnen de missie Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren heeft MMIP E1 het meeste baat bij de toepassingen vanuit het gebied Photonics and Light Technologies. Voor MMIP E5 zijn er minder toepassingen. Beide MMIP's hebben baat bij het toepassen van geavanceerde sensoren en nieuwe manieren om de data op te halen.

¹⁸⁹ <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2515-7647/ab6742#ijpphotonab6742s6>

¹⁹⁰ <https://ipi-jena.de/en/>

¹⁹¹ <https://www.surfixdx.com/>

¹⁹² <https://www.photonicsonline.com/doc/infrared-thermography-its-use-0001>

¹⁹³ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214180416301350>

¹⁹⁴ <https://oneplanetresearch.nl/innovatie/ingestible/>

¹⁹⁵ https://www.photonics.com/Articles/Commercial_Small_Animal_Imaging_Could_Aid_Disease/a65102

¹⁹⁶ <https://www.fme.nl/reuzensprong-voor-medische-beeldvorming>

¹⁹⁷ https://www.photonics.com/Articles/Laser_Technique_for_Disease_Identification/a65397

Tabel 36 Bijdrage van PLT aan Missie E Duurzame en veilige Noordzee en ander wateren

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Imaging technologies	Geïntegreerde fotonica	Fotogeneratie- en detectie-technologie	Photonic/ electronic co-integration	Photovoltaics
E1	Balans tussen economische activiteiten op zee, zoals de opwekking van hernieuwbare energie en de productie van voedsel en de ruimtelijke en ecologische draagkracht van de Noordzee					
E5	Ontwikkeling van een duurzame kust- en zeevisserij op de Noordzee					

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

- Om de ecologische en fysische grenzen van het Noordzee-ecosysteem te definiëren en meten is robuuste basiskennis op het fysisch, chemisch en ecologisch gebied nodig (MMIPE1 en MMIPE5). In de toekomst kan **Li-Fi** gebruikt worden om datasignalen te versturen. Elektromagnetische straling in het lichtspectrum (zoals bij Li-Fi) kan zich door water verplaatsen, in tegenstelling tot radiogolven (zoals bij Wi-Fi).¹⁹⁸ Li-Fi staat bekend als efficiënt, snel en goedkoop.¹⁹⁹ Toepassingen van het versturen van data d.m.v. Li-Fi zijn te vinden in de offshore energie-industrie, maar ook in de wetenschap. Denk bijvoorbeeld aan het ophalen data van meetinstrumenten die gebruikt worden tijdens de constructie of inspectie van offshore assets of voor meetinstrumenten die gebruikt worden voor de wetenschap (geluid, zeestromingssensoren, etc.)²⁰⁰.
- **Floating solar farms (TRL: middel-hoog)**^{201,202} kunnen ook bijdragen aan een efficiëntere invulling van de Noordzee (MMIP E1). Veel ruimte is gereserveerd voor offshore hernieuwbare energie, met name windenergie. Tussen de turbines op offshore windparken is er ook ruimte die opgevuld kan worden met drijvende zonnecellen.^{203,204} Zoals beschreven bij andere Missies hebben **transparante** of andere nieuwe **PV-materialen** de potentie om even efficiënt te zijn als conventionele PV-materialen. De transparantie kan er ook voor zorgen dat er relatief minder impact is op de omgeving. Deze nieuwe materialen kunnen zich wellicht beter manifesteren onder de grillige omstandigheden op de Noordzee²⁰⁵.

¹⁹⁸ <https://ieeexplore.ieee.org/document/9526524>¹⁹⁹ <https://www.eenewseurope.com/en/lifi-goes-underwater/>²⁰⁰ <https://www.hydromea.com/underwater-wireless-communication>²⁰¹ <https://www.tno.nl/en/sustainable/renewable-electricity/sustainable-solar-land-water/floating-solar-panels/>²⁰² <https://www.tudelft.nl/innovatie-impact/home-of-innovation/innovation-projects/projects-2022/floating-solar-panels>²⁰³ <https://www.fieldlabwestvoorne.nl/>²⁰⁴ <https://zonopwater.nl/home>²⁰⁵ https://www.renewableenergymagazine.com/pv_solar/midsummer-supplies-ultralight-solar-panels-for-dutch-20211129

6.2.6 Overige missies van LNV

Binnen de overige missies van LNV zijn enkele toepassingen gevonden voor PLT.

Tabel 37 Bijdrage van PLT aan overige missies van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Imaging technologie	Geïntegreerde fotonica	Fotogeneratie- en detectie-technologie	Photonic/ electronic co-integration	Photovoltaics
LNV2	Verhogen Brede Maatschappelijke Welvaart in het landelijk gebied					
LNV3	Doelen van de Vogel- en Habitatrichtlijn in Nederland zijn bereikt en de Nederlandse ecologische voetafdruk is gehalveerd					
LNV4	Gezelschapsdieren en dieren voor vermaak zijn fysiek en mentaal gezond					

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

- **Cameravallen** in combinatie met Digital Technologies worden al gebruikt om te registreren welke (bedreigde) diersoorten in een bepaald natuurgebied voorkomen. In de context van de Vogel- en Habitatrichtlijn is het monitoren van de vogels en dieren een goede manier om de stand van zaken op te nemen. Ook kan met remote sensing (beelden die gemaakt zijn door drones, vliegtuigen of satellieten en Digital Technologies) schattingen gemaakt worden van het aantal en soort vogels of dieren dat aanwezig is in een gebied.

6.3 Relevante initiatieven en organisaties in Nederland

Nederland heeft een zeer goede trackrecord op het gebied van fotonica. Er zijn meerdere bedrijven, kennisinstellingen en samenwerkingen die wereldwijd hoog aangeschreven staan. De Nederlandse overheid investeert fors in deze industrie. Zo heeft het Nationale Groeifonds recentelijk €470 miljoen toegekend aan het programma PhotonDelta, welke zich ook op de Agrifood-markt richt. Samen met industriepartners komt de totale investering op €1,1 miljard.²⁰⁶ Dit project moet Nederland het middelpunt maken in de ontwikkeling van de nieuwe generatie fotonica. Het geld moet honderden startups, onderzoekers, producenten en innovators ondersteunen. Zoals gezegd is het Nederlandse fotonica ecosysteem groot. Er zijn belangrijke *triple helix* initiatieven zich bezighouden met innovatieve toepassingen van fotonica. Uit de kwantitatieve analyse (zie Figuur 5) blijkt ook dat diverse universiteiten, waaronder de WUR, zich bezighouden met relevant onderzoek. Hieronder benoemen we verschillende relevante initiatieven.

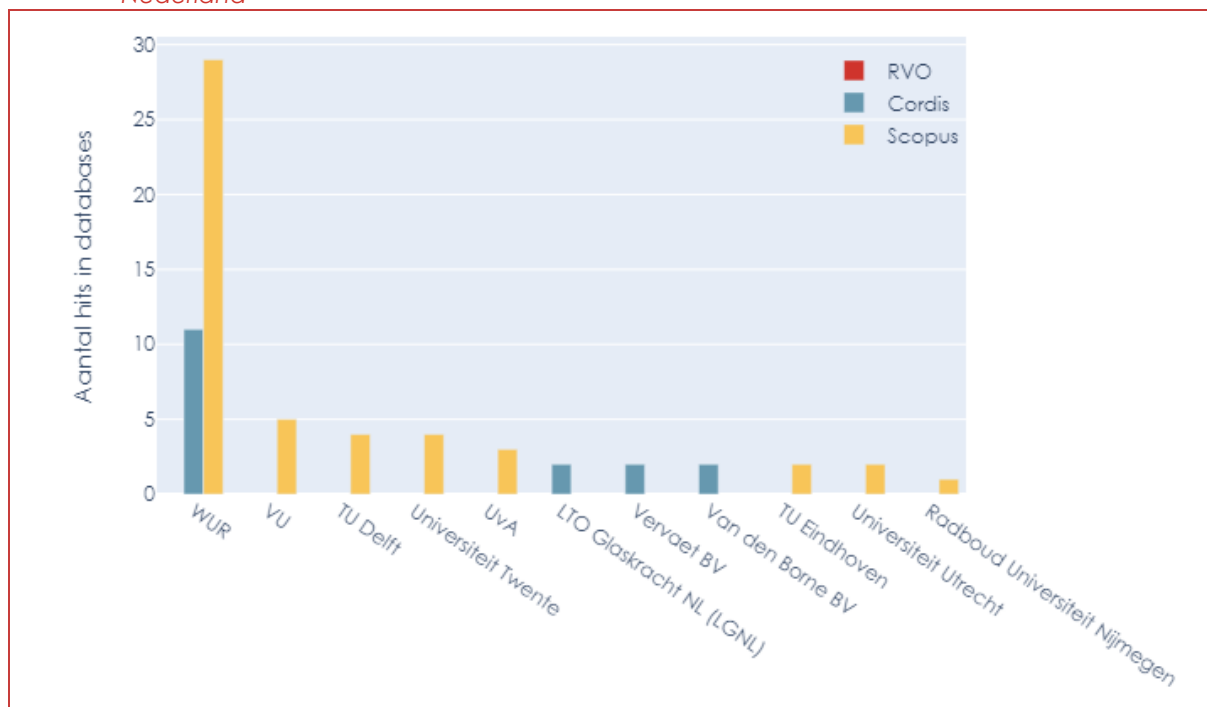
- **PhotonicsNL**: de Nederlandse brancheorganisatie voor fotonica en optica. Internationaal opererende bedrijven, mkb en startups zijn lid van PhotonicsNL, gevestigd in Enschede.
- **PhotonDelta**: is een internationaal samenwerkingsverband tussen organisaties in fotonische chiptechnologie. PhotonDelta heeft als doel een ecosysteem voor een *end-to-end value*

²⁰⁶ <https://www.photondelta.com/news/photondelta-lands-1-1-billion-to-usher-in-a-new-generation-of-semiconductor-technology/>

chain voor fotonische chips te ondersteunen. Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat is verantwoordelijk voor het PhotonDelta-programma. PhotonDelta heeft recentelijk een investering van €1,1 miljard toegekend gekregen, deels uit het Nationaal Groeifonds en deels van private partners. Het programma richt zich ook op toepassingen voor de Agrifood-markt.

- **OnePlanet Research Center:** is een samenwerkingsverband tussen Wageningen University & Research (WUR), Radboud Universiteit, Radboudumc en Imec. Met behulp van de nieuwste chip- en digitale technologieën streeft het OnePlanet Research Center om een duurzame maatschappij te creëren.
- **Holst Centre:** is een onderzoeks- en innovatiecentrum van Imec en TNO, gericht op gezondheidstechnologieën. In 2023 zullen TNO en imec onder de paraplu van Holst Centre onderzoek naar geïntegreerde fotonica doen
- **WUR:** speelt een belangrijke rol op het gebied van onderzoek op de interface tussen PLT-onderzoek en de KIA-LWV. Een voorbeeld van hiervan is de leerstoelgroep Agrarische Bedrijfstechnologie of het programma Agro Food Robotics.
- Overige universiteiten waaronder **TU Delft, Universiteit Twente en Technische Universiteit Eindhoven**. Op deze universiteiten wordt veel onderzoek gedaan naar Photonics and Light Technologies.
- **TNO:** is de Nederlandse organisatie voor toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek. Bij TNO wordt veel onderzoek naar fotonica gedaan.
- **Dutch Optics Centre (DOC):** een samenwerking tussen TNO, Delft University en andere stakeholders. Het DOC heeft als doel om de Nederlandse optica en optomechatronica industrie te stimuleren. Door het gezamenlijk uitvoeren van onderzoek en ontwikkeling kan de valorisatie van de Nederlandse wetenschap beter tot stand komen.
- **Glastuinbouw Nederland (LTO Glaskracht Nederland):** vertegenwoordigt een groot deel van Nederlandse ondernemers in de glastuinbouw. Glastuinbouw Nederland ondersteunt het innovatieprogramma Kennis in je Kas (Kijk) en is initiatiefnemer van de Stichting Innovatie Glastuinbouw (SIGN). Glastuinbouw Nederland speelt een belangrijke rol voor innovatie in de glastuinbouw.

Figuur 5 Relevante initiatieven en organisaties op het gebied van Photonics and Light Technologies in Nederland



Technopolis Group o.b.v. database-onderzoek

6.4 Kansen voor de opgaven van LNV

- **Breed scala aan toepassingen.** Een relatief klein aantal technologieën binnen PLT hebben veel verschillende toepassingen. Dat wil zeggen dat zodra een technologie een hoog TRL-niveau bereikt er veel kansen zijn om de algemene toepassing te vertalen naar domein-specifieke toepassingen.
- **Sterk fotonica-ecosysteem in Nederland.** Het is een zeer complex ecosysteem. Samenwerking (ook internationaal) is erg belangrijk. In Nederland zijn er een aantal partijen die gespecialiseerd zijn in bepaalde aspecten. Dit zorgt ervoor dat het Nederlandse ecosysteem in een goede positie is om bij belangrijke nieuwe initiatieven betrokken te worden.
- **Sensoren bieden kansen voor betere monitoring.** Fotonica (in combinatie met onder andere Digital Technologies en Engineering and Fabrication Technologies) gaat het mogelijk maken om in real time de voedselveiligheid en -kwaliteit te monitoren. Hierdoor kan er een veel hoger percentage van voedsel gecheckt worden, met name ten opzichte van processen waar er middels sampling of handmatige check de kwaliteit en veiligheid van voedsel gecheckt wordt. Sensoren kunnen ook gebruikt worden om systemen in te richten die bedrijven belonen voor goed gedrag (bijv. op het gebied van dierenwelzijn).

6.5 Bedreigingen voor de opgaven van LNV

- **Kwetsbare waardeketen.** Zoals de crisis in de toeleveringsketen van chips van de afgelopen jaren heeft laten zien, zijn de "normale" integrated chips zeer gewild in veel industrieën. Deze chips kunnen ook nodig zijn in sensoren relevant voor de KIA LWV. Ook zijn kritieke materialen nodig voor het produceren van fotonische producten. Dit maakt dat de waardeketen van Photonic and Light Technologies kwetsbaar kan zijn.

- **Tekort aan juiste arbeidskrachten.** Zowel de voedselindustrie als de fotonica-industrie kan mogelijk te maken krijgen met problemen in de toekomstige arbeidsmarkt. Er is namelijk een tekort aan goed opgeleid technisch personeel, o.a. mensen die verstand hebben van optica. In de voedselindustrie kan robotisering hier mogelijk een oplossing voor bieden.
- **Hoge investeringskosten.** De investeringen in meetsystemen zijn vaak hoog. Aangezien veel boeren of glastuinbouwers te maken hebben met kleine marges, is het belangrijk dat de kosten van sensor(systemen) niet te hoog zijn. Een bedreiging is dat het kostenaspect grootschalige adoptie tegenwerkt.
- **Maatschappelijke acceptatie industrialisering met sensoren.** Wanneer er meer sensoren gebruikt worden in de primaire productie (bijvoorbeeld voor sensoren die waken over dieren), landbouw of voedingsindustrie, worden deze processen minder menselijk. Dit zou ervoor kunnen zorgen dat de productie een meer industrieel aanzien krijgt en (een deel van) de maatschappij het niet accepteert. Met name in het biologische of agro-ecologische deel van de sector zou dit op kunnen komen, ondanks dat het veel voordelen met zich mee kan brengen.

6.6 Reflectie

Binnen de KIA LWV zijn er veel toepassingen van Photonic and Light Technologies (PLT) denkbaar. Veel toepassingen liggen op het gebied van (optische) sensoren voor monitoring, lichtgeneratie en duurzame energie. In dergelijke toepassingen kan PLT bijdragen aan het verminderen van voedselverlies en -verspilling, monitoren van voedselfraude, bijdragen aan het verbeteren van het dierenwelzijn en bevorderen van de productie van voedszaam voedsel. PLT kan ook bijdragen aan een reductie van het energieverbruik binnen de voedselketen, een kentering naar agro-ecologische landbouw en het optimaliseren van processen. We zien dat de glastuinbouw al gebruik maakt van PLT.

Toepassingen van fotonica gaan vaak samen met Digital Technologies en Engineering and Fabrication Technologies. Deze toepassingen, zoals autonome robots, kunnen goed producten of gewassen herkennen en daar zelf op handelen.

Nederland investeert sterk in de ontwikkeling van een ecosysteem op het gebied van fotonica. Daarbinnen richt men zich op de ontwikkeling van de fotonica, waarbij ook toepassingen op het gebied van agrifood in beeld zijn. De missies van de KIA LWV lijken echter minder scherp in beeld, wat mogelijkheden biedt om die nauwer met deze technologie te verbinden.

7 Fiche Advanced Materials

7.1 Beschrijving

Geavanceerde materialen (Advanced Materials, AM) zijn nieuwe materialen of nieuwe toepassingen van bestaande materialen met verbeterde eigenschappen die ontworpen zijn voor het leveren van betere prestaties. Recente innovaties hebben het mogelijk gemaakt zowel organische als anorganische stoffen op atomair niveau te manipuleren en nieuwe, speciaal vervaardigde materialen te creëren die bijvoorbeeld vele malen lichter of sterker zijn dan natuurlijk voorkomende materialen. Naast deze verbeterde eigenschappen kunnen de materialen ook op meerdere manieren toegepast worden (bijvoorbeeld in biomaterialen). De nieuwe ontwikkelingen op het gebied van materiaalkunde hebben geleid tot nieuwe functionele materialen zoals batterijen en sensoren. Geavanceerde materialen worden reeds op grote schaal succesvol geïntegreerd in uiteenlopende gebieden, zoals bijvoorbeeld hightech- en voedselproductie en de ontwikkeling van medicijnen.

De belangrijkste technologieën die onder de paraplu van AM's vallen volgens het raamwerk van de KIA Sleuteltechnologieën, zijn:

- **Biomaterialen en zachte materialen:** Kunstmatig verkregen zachte materialen zoals biologische weefsels. Een bekend voorbeeld is het gebruik van biopolymeren (zoals zetmeel of eiwitten) in plaats van uit olie vervaardigde polymeren voor de productie van bioplastic. In de voedselindustrie worden biopolymeren gebruikt voor de productie van voedselverpakkingen.²⁰⁷
- **Composieten en keramiek:** Composieten zijn materialen bestaande uit minimaal twee componenten van verschillende materiaalsoorten, namelijk een vezel en een hars. In deze samenstelling zorgt de vezel voor stijfheid, terwijl de hars deze vezels bij elkaar houdt. Hierdoor versterken de twee componenten elkaar.²⁰⁸ Composieten worden binnen de landbouw toegepast voor de productie van opslagsystemen omdat deze vele malen lichter en sterker zijn dan bijvoorbeeld staal. Daarnaast zijn er ook bio-composieten die bestaan uit plantaardige vezels. De landbouw kan als producent van natuurlijke vezels een grote rol spelen bij de productie van deze bio-composieten.²⁰⁹

Keramische materialen zijn vaste stoffen die niet geleidend en niet-biologisch zijn. Ze worden toegepast om hun hoge mate van hardheid, slijtvastheid, chemische bestendigheid of warmte isolerende eigenschappen.²¹⁰ Binnen de landbouw kunnen machines zoals tractoren voorzien worden van een keramische coating om slijtage tegen te gaan.

- **Designer- en metamaterialen:** Hieronder vallen kunstmatig vervaardigde materialen met bijzondere eigenschappen die niet voorkomen in natuurlijke materialen. Metamaterialen ontleen hun eigenschappen niet aan hun chemische samenstelling, maar aan hun interne microstructuur.²¹¹ Een voorbeeld van een dergelijk materiaal zijn saloplastics. Deze

²⁰⁷ <https://www.jongia.com/nl/industrieen/bio-based/biopolymeer/#:~:text=Biopolymeren%20op%20basis%20van%20cellulose,Bijvoorbeeld%20cellofaan.&text=Afbreekbare%20polymeren%20kunnen%20worden%20gemaakt,die%20uit%20aardolie%20worden%20verkregen>.

²⁰⁸ <https://www.smartcirculair.com/composiet-materialen-nu-ook-recyclebaar/>

²⁰⁹ <https://www.noordz.nl/2022/06/17/de-kansen-voor-biocomposiet-in-de-bouw-en-landbouw-zijn-groot/>

²¹⁰ <https://www.sietzematetechniek.nl/materialen/keramische-materialen/>

²¹¹ <https://www.tudelft.nl/2020/3me/juni/onderzoekers-creeren-een-nieuwe-klasse-snelheidsgevoelige-mechanische-metamaterialen>

materialen functioneren onder normale omstandigheden als gewone plastics, maar wanneer ze in de zee (zoutwater) terecht komen dissociëren ze en vallen ze uiteen.²¹² Daarnaast wordt er momenteel onderzoek gedaan naar het gebruik van deze materialen binnen de voedselindustrie om voedsel zodanig te bewerken dat het bijvoorbeeld beter eetbaar is voor mensen met een beperking, of om mensen met eetstoornissen aan het eten te krijgen.²¹³

- **Energieconversiematerialen:** Dit zijn materialen die energie om kunnen zetten van de ene vorm in de andere. Zo kunnen zonnecellen warmte omzetten in elektriciteit.
- **Materialen voor energieopslag:** Materialen waarin energie kan worden opgeslagen. Het meest bekende voorbeeld is een batterij. Binnen de landbouw worden lithium-ion batterijen gebruikt om grote landbouwmachines van energie te voorzien.
- **Optische, elektronische en magnetische materialen:** Binnen de agrarische sector worden deze materialen gebruikt voor de ontwikkeling van nieuwe sensoren bestaande uit materialen van verschillende resonantie-typen (trillingen) waardoor met hoge nauwkeurigheid het bodemvochtgehalte vastgesteld kan worden.²¹⁴
- **Slimme, zelfhelende en zelforganiserende materialen:** Materialen die zichzelf kunnen organiseren of repareren. In de landbouw kan zelfhelend beton bijvoorbeeld toegepast worden voor de aanleg van irrigatiesystemen of als fundament voor opslagsystemen.
- **Structurele materialen:** Dit zijn materialen die worden gebruikt vanwege hun sterke mechanische eigenschappen. Zo kunnen materialen sterker gemaakt worden door vezels toe te voegen aan kunststof (composieten).²¹⁵
- **Coatings en dunne films:** Coatings en films zijn flinterdunne lagen die aangebracht worden aan een product voor decoratieve, beschermende of functionele doeleinden. Binnen de glastuinbouw wordt momenteel veel onderzoek gedaan naar innovatieve antireflectiecoatings (AR). Deze coatings optimaliseren de verspreiding van licht en kunnen de lichtintensiteit reguleren.²¹⁶

Vanwege de uiteenlopende toepassingsmogelijkheden zijn er connecties met andere sectoren. AM heeft als sleuteltechnologie deels overlap met de technologieën chemische technologieën, Engineering and Fabrication technologieën en nanotechnologie.

7.2 Bijdrage aan opgaven van LNV

Technologische ontwikkelingen rondom geavanceerde materialen hebben de laatste jaren in een stroomversnelling gezeten. Ook binnen de door de LNV opgestelde beleidsdoelen zijn er relevante toepassingen voor deze materialen te vinden. Vooral binnen missie A kunnen geavanceerde materialen een nuttige bijdrage leveren. Daarnaast zijn er ook toepassingen binnen missies B, C en D. Voor missie E en de overige missies van LNV zijn geen relevante toepassingen gevonden voor geavanceerde materialen. De volgende tabel geeft een overzicht van de mogelijke toepassingen van geavanceerde materialen binnen de verschillende missies.

²¹² <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032386122000702>

²¹³ <https://www.folia.nl/wetenschap/151488/de-lekkerste-chocolade-komt-uit-een-3d-printer-op-de-uva>

²¹⁴ https://www.researchgate.net/publication/287855036_Soil_moisture_sensors_based_on_metamaterials

²¹⁵ https://www.nwo.nl/sites/nwo/files/media-files/TNO-2018-R11465_1.pdf

²¹⁶ <https://www.onderglas.nl/innovatieve-coating-moet-resulteren-in-duidelijke-meerproductie/>

Tabel 38 Mate waarin de sleuteltechnologie een bijdrage kan leveren aan opgaven van LNV

Opgave LNV	← kleine bijdrage grote bijdrage →				
Kringlooplandbouw					
Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie					
Klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied					
Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel					
Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren)					
Overige missies van LNV					

Beoordeling Technopolis Group

7.2.1 Missie A: Kringlooplandbouw

Het doel van deze missie is om de agrarische sector in Nederland substantieel te verduurzamen door middel van het reduceren van het gebruik van grond- en hulpstoffen in 2030. Geavanceerde materialen kunnen hier een bijdrage aan leveren door het toepassen van designer- en metamaterialen. Voor de overige soorten geavanceerde materialen is geen directe toepassing gevonden binnen deze missie. Hieronder volgen enkele voorbeelden van dergelijke toepassingen:

- **Metaal organische structuren (MOF) voor efficiëntere bioraffinage (Metamaterialen, TRL: laag):** Het omzetten van biomassa in bio-hernieuwbare chemicaliën door middel van bioraffinage wordt al veelvuldig toegepast om het hergebruik van zij- en reststromen efficiënter te laten verlopen (MMIP A3). Recent is binnen de onderzoeksgroep laboratorium adsorptie en katalyse (LADCA) van Universiteit Antwerpen een onderzoek gestart naar de ontwikkeling van organische-anorganische poreuze materialen bestaande uit fosfonaat-metaal verbindingen. Deze geavanceerde materialen kunnen ingezet worden als katalysatoren die bioraffinage-processen nog efficiënter laten verlopen²¹⁷. Het onderzoek is nieuw en er is nog weinig bekend over de uiteindelijke toepasbaarheid van de materialen. Vandaar dat het TRL-niveau voor deze toepassing op laag wordt geschat.
- **Ammoniak afvangen met Metaal-Organische Structuren²¹⁸ (Metamaterialen, TRL: laag):** Ammoniak (bestaande uit stikstof en waterstof) is een belangrijk gas dat onder andere wordt gebruikt bij de productie van kunstmest. Het produceren en scheiden van ammoniak via het klassieke Haber-Boschproces verbruikt echter veel energie en is dus niet erg duurzaam. Recent is er een nieuwe technologie ontwikkeld op basis van metaal-organische structuren waardoor ammoniak direct uit de lucht afgevangen wordt, zonder dat het eerst gescheiden dient te worden van stikstof en waterstofgas.²¹⁹ Dit leidt tot een reductie in fossiele emissies (MMIP A1) en een reductie in lachgasemissie (MMIP B2). Het proces wordt echter nog onderzocht en is nog niet in de praktijk toegepast. Hierdoor wordt het TRL-niveau op laag geschat.
- **Bioafbreekbare kunstmestcoating (TRL: middel):** Sinds enkele jaren wordt onderzoek gedaan naar en gebruik gemaakt van het inkapselen van kunstmest in een coating van biopolymeren die langzaam afbreken. Hierdoor wordt de kunstmest langzaam vrijgegeven

²¹⁷ <https://www.uantwerpen.be/nl/onderzoeksgroep/ladca/onderzoek/onderzoeksprojecten/>

²¹⁸ <https://www.nature.com/articles/s41586-022-05409-2>

²¹⁹ <https://www.nature.com/articles/s41586-022-05409-2>

waardoor gewassen de kunstmest beter kunnen opnemen en minder stoffen in de bodem achterblijven (MMIP A2).^{220,221}

De volgende tabel geeft een overzicht weer van de toepassingen van specifieke subcategorieën binnen de voor missie A relevante MMIP's.

Tabel 39 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Bio- en zachte materialen	Composiet en keramiek	Designer- en metamaterialen	Energie-conversie materialen	Energieopslag-materialen	Optische/elektronische/magnetische materialen	Slimme materialen	Structurele materialen	Coatings & thin films
A1	Verminderen fossiele nutriënten en emissies naar bodem, water en lucht									
A2	Ontwikkeling van robuuste teeltsystemen op een gezonde bodem en substraat op basis van agro-ecologische principes									
A3	Optimalisering van het hergebruik van zij- en reststromen									
A4	Ontwikkeling van nieuwe plantaardige eiwitbronnen binnen Europa voor voedsel en diervoeders									
A5	Inzicht in hoe biodiversiteit kan worden hersteld en benut in de kringlooplandbouw									

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

7.2.2 Missie B: Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie

Het doel van deze missie is om de land- en tuinbouwsector volledig klimaatneutraal te laten werken in 2050. Dit wordt verwezenlijkt door de uitstoot van broeikasgassen substantieel te verminderen en de CO₂ vastlegging in de bodem te verhogen. Daarnaast moet de sector in 2050 geheel onafhankelijk zijn van fossiele grondstoffen. Binnen deze missie kunnen geavanceerde materialen een bijdrage leveren door het gebruik van coatings voor de glastuinbouw. Voor andere geavanceerde materialen is geen relevante toepassing gevonden binnen deze missie.

- **Coatings voor regulatie zonnenspectrum glastuinbouw (Coatings & films, TRL: laag-hoog):**
Het gebruik van innovatieve coatings, zoals antireflectiecoatings (AR) om de verspreiding van licht te optimaliseren of de lichtintensiteit te reguleren is niet nieuw binnen de glastuinbouw. Momenteel wordt er echter onderzoek gedaan naar de toepasbaarheid

²²⁰ https://www.researchgate.net/publication/357370875_Degradable_Slow-Release_Fertilizer_Composite_Prepared_by_Ex_Situ_Mixing_of_Inverse_Vulcanized_Copolymer_with_Urea

²²¹ https://www.researchgate.net/publication/314110109_Biodegradable_Polymer_Composites_as_Coating_Materials_for_Granular_Fertilizers

van nieuwe coatings om – voor planten nutteloos ultraviolet (UV) licht- om te kunnen zetten in zichtbaar licht of actieve fotosynthetische straling (AFS). Op deze manier kan het binnenkomende zonnenspectrum beter benut worden wat leidt tot een lager energieverbruik en een hogere productieopbrengst (MMIP B5).²²²

- **Coatings voor energieopslag- en conversie (coatings & films, energieopslag, energieconversie, TRL: laag):** De laatste jaren wordt er veel onderzoek gedaan naar- en gebruik gemaakt van lithiumbatterijen, omdat deze relatief duurzaam zijn. In Amerika wordt er momenteel geëxperimenteerd met een coating die deze batterijen nog energiezuiniger maakt.²²³ In het onderzoek wordt gebruikgemaakt van een nikkel-mangaan-kobalt-kathode (nmc) die ingekapseld is met een polymeer dat zwavel bevat. De coating zou de batterij beter moeten beschermen tijdens het op- en ontladen waardoor minder energie nodig is. De coating bevindt zich echter nog in de experimentele fase en wordt nog niet op grote schaal gebruikt. Vandaar dat het TRL-niveau op laag wordt geschat.

Daarnaast worden er door vele andere bedrijven onderzoek gedaan naar energieopslag en absorptie door middel van coatings. Zo kwam Akzo Nobel in 2020 met een slimme coating die warmte absorbeert²²⁴, en ontwikkelde Vattenfall in 2019 een zoutbatterij op basis van een nanocoating.²²⁵ Deze toepassingen zitten echter al op een dermate hoog TRL-niveau en zijn daarnaast niet specifiek toepasbaar binnen de beleidsdoelen van LNV waardoor ze niet uitgebreid zijn meegenomen in deze analyse.

De volgende tabel geeft een overzicht weer van de toepassingen van specifieke subcategorieën binnen de voor missie B relevante MMIP's.

Tabel 40 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Bio- en zachte materialen	Composiet en keramiek	Designer- en metamaterialen	Energie-conversie	Energieopslag-materialen	Optische/elektronische/magne	Slimme materialen	Structurele materialen	Coatings & thin films
B1	Reductie van de uitstoot van methaan in de veehouderij									
B2	Vermindering van de uitstoot van lachgas bij de bemesting van landbouwbodems en bij de volleggrondsteelt									
B3	Vermindering van oxidatie in de veenweidegebieden									
B4	Verhoging vastlegging van koolstof in landbouwbodems, bij volleggrondsteelt, in bos en natuur									

²²² <https://kia-landbouwwatervoedsel.nl/project/advanced-light-management-by-luminescent-materials-in-greenhouse-coatings/>

²²³ Xu, G., et al. (2019). Building ultraconformal protective layers on both secondary and primary particles of layered lithium transition metal oxide cathodes. Geraadpleegd via: <https://www.nature.com/articles/s41560-019-0387-1>

²²⁴ <https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i22438/warmtewingevel-onthuld-zonnewarmte-opwekken-met-warmte-absorberende-verf>

²²⁵ <https://group.vattenfall.com/nl/newsroom/achtergrondartikel/2019/zout-als-energieopslag-proefproject-vattenfall-bij-warmtecentrale-in-berlijn>

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Bio- en zachte materialen	Composiet en keramiek	Designer- en metamaterialen	Energie-conversie	Energieopslag-materialen	Optische/elektronische/magne	Slimme materialen	Structurele materialen	Coatings & thin films
B5	Vermindering van energieverbruik in glastuinbouw									
B6	Toename productie en gebruik van biomassa (biograndstoffen)									

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

7.2.3 Missie C: Klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied

Deze missie is erop gericht om in 2050 een klimaatbestendig landelijk en stedelijk gebied gerealiseerd te hebben in Nederland. Geavanceerde materialen kunnen hier een bijdrage aan leveren door het toepassen van metaalorganische structuren voor innovatieve waterzuivering om zo de waterkwaliteit te verbeteren. Voor de overige soorten geavanceerde materialen zijn geen toepassingen gevonden binnen deze missie.

- **Metaal-organische structuren (MOF) voor waterzuivering (Metamaterialen, TRL: middel):**
Deze materialen bestaan uit een metaalion of metaalcluster en organische liganden. Liganden zijn moleculen die alleen met specifieke receptoren kunnen binden (insuline bindt bijvoorbeeld alleen op een insuline-receptor)²²⁶ De structuur van een MOF is zo te modificeren dat er bepaalde stoffen gebonden kunnen worden. Voor waterzuivering (MMIP C3) kunnen MOF's bijvoorbeeld ingezet worden voor de verwijdering van organische stoffen en zware metalen. Daarnaast kunnen MOF's gecombineerd worden met metalen of anorganische halfgeleiders waardoor deze katalytische eigenschappen krijgen, en dus de chemische reacties (het verwijderen van stoffen uit water) kunnen versnellen. Ze kunnen ingezet worden voor de absorptie of het afbreken van organische microverontreinigingen zoals antibiotica.^{227,228,229} De laatste jaren is veel onderzoek gedaan naar de toepasbaarheid en de productie van deze materialen. Het principe is dus niet nieuw, echter is er weinig ervaring met het op grote schaal toepassen van deze techniek.

De volgende tabel geeft een overzicht weer van de toepassingen van specifieke subcategorieën binnen de voor missie C relevante MMIP's.

²²⁶ <https://www.ugent.be/ge/nl/toekomstige-studenten/infodagen/geneeskunde/cel-iv-moleculaire-biologie-en-genetica.pdf>

²²⁷ <https://www.rivm.nl/nanotechnologie/geavanceerde-materialen/uitdagingen-veilig-gebruik-metaal-organische-structuren-waterzuivering>

²²⁸ <https://www.mdpi.com/2073-4344/9/1/52>

²²⁹ <https://edepot.wur.nl/577566>

Tabel 41 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Bio- en zachte materialen	Composiet en keramiek	Designer- en metamaterialen	Energie-conversie	Energieopslag-materialen	Optische/elektronische/magnetische materialen	Slimme materialen	Structurele materialen	Coatings & thin films
C1	Voorkomen van wateroverlast en watertekort in landelijk (en stedelijk) gebied									
C2	Ontwikkeling van klimaatbestendige land- en tuinbouwproductiesystemen									
C4	Verbeteren van de waterkwaliteit									

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

7.2.4 Missie D: Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel

Deze missie is erop gericht om in 2030 gezond veilig en duurzaam voedsel te produceren. Geavanceerde materialen kunnen hier een relevante bijdrage aan leveren door het gebruik van composieten en coatings, specifiek voor het ontwikkelen van innovatieve voedselverpakkingen. Voor de overige geavanceerde materialen zijn geen toepassingen gevonden binnen deze missie.

- **Biologisch afbreekbare verpakkingen voor voedingsmiddelen (Composieten, TRL: laag):** De laatste jaren is er veel onderzoek gedaan naar een alternatief voor plastic voedselverpakkingen (MMIP D2/D3). Een van de grootste problemen op dit gebied is het feit dat biopolymeren vaak niet volledig waterafstotend zijn, waardoor deze niet volledig geschikt zijn. De Universiteit van Aalto heeft mogelijk voor een doorbraak gezorgd door een composiet van biopolymeren te ontwikkelen dat volledig waterafstotend is, en dus geschikt als voedselverpakking²³⁰. Het concept is echter slechts op laboratoriumschaal geïntroduceerd. De daadwerkelijke toepasbaarheid en mogelijkheid tot grootschalige productie zijn nog niet onderzocht vandaar dat het TRL-niveau op laag wordt geschat.
- **Biovezels als alternatief voor plastic voedselverpakkingen (Coatings en biomaterialen, TRL: middel):** Een ander onderzoek naar een alternatief voor plastic voedselverpakkingen (MMIP D2/D3) van Rutgers University in samenwerking met Harvard heeft geleid tot de ontwikkeling van een bio-coating op basis van zetmeelvezels. Deze vezels kunnen vervolgens via een techniek genaamd "gericht roterend spinnen", aangebracht worden op voedsel. Volgens het onderzoek beschermt de coating tegen transportschade en zorgen de antimicrobiële eigenschappen ervoor dat avocado's tijdens het onderzoek 50 procent langer goed bleven vanaf het moment dat ze in de schappen lagen.²³¹

De volgende tabel geeft een overzicht weer van de toepassingen van specifieke subcategorieën binnen de voor missie D relevante MMIP's.

²³⁰ <https://phys.org/news/2022-11-lignin-nanoparticles-sustainable-recipe-combining.html>

²³¹ <https://www.rutgers.edu/news/spray-alternative-plastic-wrap>

Tabel 42 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Bio- en zachte materialen	Composiet en keramiek	Designer- en metamaterialen	Energie-conversie materialen	Energieopslag-materialen	Optische/elektronische/magnetische materialen	Slimme materialen	Structurele materialen	Coatings & thin films
D2	Stimuleren van het produceren en consumeren van gezond en duurzaam voedsel									
D3	Ontwikkelen van veilige, duurzame productiesystemen zonder risico's voor de omgeving									
D4	Ontwikkelen van een substantieel duurzamer en veiliger voedselketen									

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interview

7.2.5 Missie E: Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren

Het doel van deze missie is om voor 2030 een duurzame en veilige Noordzee gerealiseerd te hebben. Daarnaast zullen in 2050 ook Nederlandse rivieren, meren en intergetijdengebieden duurzaam en veilig zijn.

Voor deze missie zijn geen relevante toepassingen gevonden voor geavanceerde materialen.

Tabel 43 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Bio- en zachte materialen	Composiet en keramiek	Designer- en metamaterialen	Energie-conversie materialen	Energieopslag-materialen	Optische/elektronische/magnetische materialen	Slimme materialen	Structurele materialen	Coatings & thin films
E1	Balans tussen economische activiteiten op zee, zoals de opwekking van hernieuwbare energie en de productie van voedsel en de ruimtelijke en ecologische draagkracht van de Noordzee									
E5	Ontwikkeling van een duurzame kust- en zeevisserij op de Noordzee									

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

7.2.6 Overige missies van LNV

Voor deze overige missies zijn geen relevante toepassingen gevonden voor geavanceerde materialen.

Tabel 44 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Bio- en zachte materialen	Composiet en keramiek	Designer- en metamaterialen	Energie-conversie materialen	Energieopslagmaterialen	Optische/elektronische/magnetische materialen	Slimme materialen	Structurele materialen	Coatings & thin films
LNV2	Verhogen Brede Maatschappelijke Welvaart in het landelijk gebied									
LNV3	Doelen van de Vogel- en Habitatrichtlijn in Nederland zijn bereikt en de Nederlandse ecologische voetafdruk is gehalveerd									
LNV4	Gezelschapsdieren en dieren voor vermaak zijn fysiek en mentaal gezond									

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

7.3 Relevante initiatieven en organisaties in Nederland

Nederland heeft een grote materialen industrie. Deze sector richt zich voornamelijk op de ontwikkeling en productie van duurzame, biobased materialen zoals bioplastics. Uit de kwantitatieve analyse van verschillende databases (zie Figuur 6) komt naar voren dat diverse Nederlandse universiteiten zich bezighouden met het ontwikkelen van nieuwe materialen die bio-afbreekbaar zijn en daarmee bijdragen aan een duurzamere landbouw en voedselindustrie. Denk hierbij aan voedselverpakkingen en bio-afbreekbare horti- en agroplastics. Ook zijn er verschillende *triple helix* samenwerkingsverbanden die zich richten op nieuwe materialen die een bijdrage kunnen leveren aan duurzaam watergebruik en de voedselindustrie.

- **Nederlandse universiteiten** zoals de **WUR, Rijksuniversiteit Groningen, Universiteit Utrecht en de TU Delft** komen in de kwantitatieve analyse vaak terug als coördinatoren of partners in *Advanced Materials* projecten in het domein van de KIA LWV.
- **Champion project:** een onderzoeksprogramma gefinancierd door Horizon 2020 dat als doel heeft om een bibliotheek van nieuwe, biobased materialen te ontwikkelen die bijdragen moeten leveren aan de circulaire ambities van de EU. Het consortium bestaat uit WUR en veertien partners afkomstig uit zes Europese lidstaten.^{232 233}
- **Circulair gebruik van plastic in land- en tuinbouw:**²³⁴ Dit project geïnitieerd door WUR, loopt van april 2022 tot december 2024 en heeft als doel om het gebruik van plastic in land- en tuinbouw volledig circulair te maken om zo fossiele emissies te verlagen en bodem- en waterverontreiniging te voorkomen. Het programma richt zich op de implementatie van

²³² <https://www.wur.nl/nl/Themas/Een-circulaire-economie/show/Doorbraak-in-veilige-en-circulaire-performance-materialen.htm>

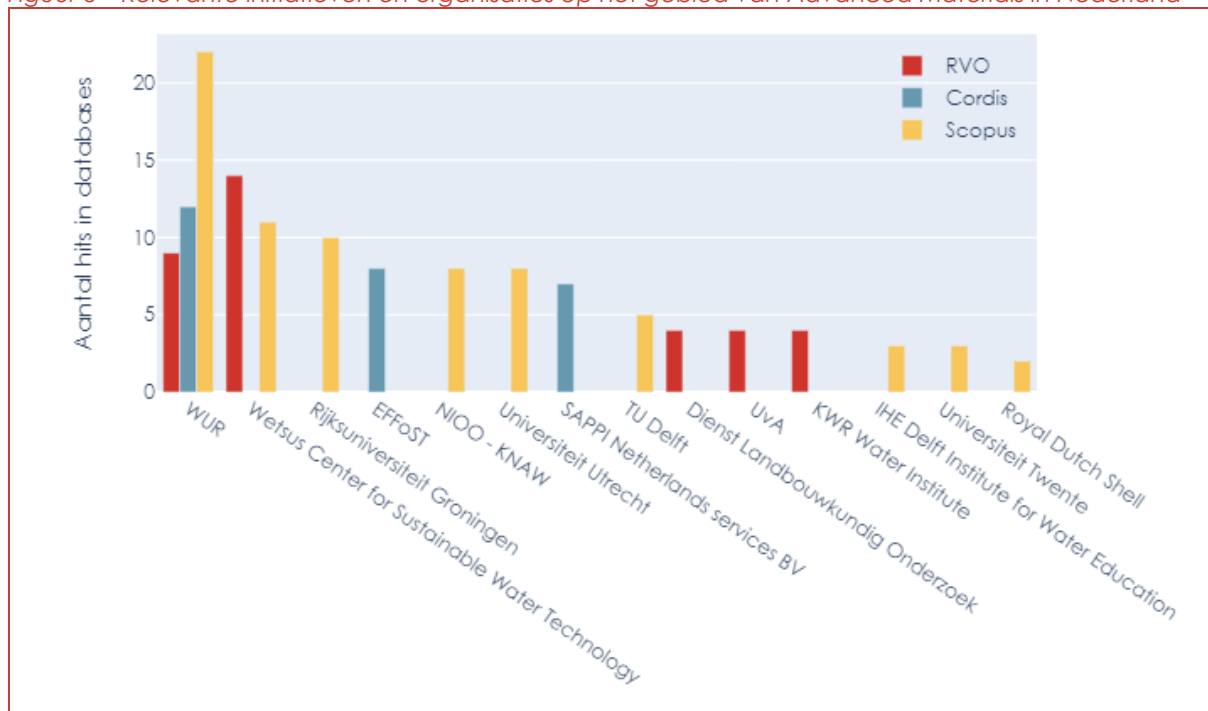
²³³ <https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksinstituten/food-biobased-research/show-fbr/nieuwe-circulaire-materialen-ontwikkelen-met-veilige-biobased-bouwstenen.htm>

²³⁴ <https://www.wur.nl/en/project/circular-use-of-plastics-in-agriculture-and-horticulture.htm>

een nieuwe recyclekringloop, het optimaliseren van recycleprocessen en het gebruik van twee nieuwe bioafbreekbare plastics.

- **Holland bioplastics:** Deze branchevereniging heeft tot doel het verspreiden, delen en toegankelijk maken van kennis en het verbinden van partijen rondom bioplastics.
- **Reefy:** Deze start-up van TU Delft heeft een kunstmatig rif ontwikkeld van duurzaam beton. Het rif bestaat uit grote blokken die niet alleen de oevers beschermen tegen golven van bijvoorbeeld grote schepen, maar ook een ecosysteem creëren voor oesters, mosselen en vissen.²³⁵

Figuur 6 Relevante initiatieven en organisaties op het gebied van Advanced Materials in Nederland



Technopolis Group o.b.v. database-onderzoek

7.4 Kansen voor de opgaven van LNV

- **Biomassa als voorradige grondstof nuttig gebruiken.** Uit interviews met experts is gebleken dat er momenteel veel biomassa (voedselverliezen) is dat niet gebruikt wordt. Hier liggen kansen om gebruikt te worden voor de ontwikkeling van geavanceerde materialen. Zo kunnen bijvoorbeeld biopolymeren geproduceerd worden uit plantaardige suikers. Dit draagt niet alleen bij aan het optimaliseren van het gebruik van zij- en reststromen, maar ook aan het volledig benutten van de biomassa.
- **Biomaterialen bevorderen circulaire landbouw en voedselindustrie:** Een toenemend aantal verschillende biomaterialen zorgt ervoor dat het hergebruik van zij- en reststromen wordt geoptimaliseerd en steeds minder fossiele grondstoffen nodig zijn. Op den duur zal dit leiden tot een duurzamere en meer circulaire landbouw en voedselindustrie.
- **Gunstige wet- en regelgeving.** Momenteel worden er op EU-niveau verschillende voorstellen besproken voor het stimuleren van onderzoek naar en implementatie van

²³⁵ <https://reefy.nl/>

nieuwe biobased plastics. Door nieuwe wet- en regelgeving krijgen biobased materialen (voornamelijk plastics) meer aandacht en meer ruimte voor ontwikkeling.

7.5 Bedreigingen voor de opgaven van LNV

- **Hoge kostprijs van duurzame geavanceerde materialen.** Een bedreiging voor het effectief en op grote schaal kunnen toepassen van geavanceerde materialen is het feit dat innovaties op dit gebied moeten concurreren met chemische bedrijven die materialen produceren met fossiele grondstoffen. Deze worden veel goedkoper geproduceerd omdat het principe van true-pricing (het doorberekenen van kosten als gevolg van milieuvervuiling en eco-sociale kosten) niet toegepast wordt. Het creëren van een gelijk speelveld door middel van bijvoorbeeld wet- en regelgeving zou kunnen bijdrage aan innovatie rondom geavanceerde materialen en verduurzaming door verdere adoptie van deze materialen.
- **Nieuwe oplossingen, nieuwe problemen.** Wanneer er nieuwe materialen ontwikkeld worden, is het belangrijk om goed duidelijk te hebben wat de risico's zijn. De toepassing van geavanceerde materialen in de landbouw en voedingsmiddelenindustrie kan ertoe leiden dat deze materialen in voedingsmiddelen of het milieu terecht komen. Daarnaast is het lastig om in te schatten wat op de lange termijn het gevolg is voor het milieu en gezondheid wanneer op grote schaal nieuwe materialen worden gebruikt. Hiervoor is een goede en tijdige risk assessment noodzakelijk.
- **Gebrek aan eenduidige definities.** Geïnterviewde experts op het gebied van materiaalkunde zien ook een potentieel risico op het gebied van eenduidige definities. Zo worden bijvoorbeeld "bio-based" en "bio-afbreekbaar" veelvuldig door elkaar gebruikt terwijl het verschillende begrippen zijn. Bio-based heeft namelijk te maken met de samenstelling terwijl bio-afbreekbaar een functionele eigenschap is. Daarnaast is de bio-afbreekbaarheid van een materiaal sterk afhankelijk van zijn omgeving. Een materiaal dat snel afgebroken wordt in de bodem, vertoont misschien een andere mate van afbreekbaarheid wanneer het in een bos of in water terecht komt.

Het definiëren van materialen kan ook (nadelige) gevolgen hebben op het gebied van financiering en innovatie. Op het gebied van traditionele polymeren zijn er veel verschillende subsidies en financieringen mogelijk, afhankelijk van hoe je biopolymeren definieert, valt deze groep wel of niet binnen dezelfde categorie waardoor ze dus afhankelijk zijn van mogelijke financiering op basis van de manier waarop ze gedefinieerd worden.

7.6 Reflectie

Geavanceerde materialen kennen diverse toepassingen die relevant zijn voor de missies van LNV. Momenteel is er veel aandacht voor het ontwikkelen en het gebruik van biomaterialen. Deze hebben met name veel relevante toepassingsmogelijkheden binnen missie A. Daarnaast vormen coatings een belangrijke subgroep binnen de geavanceerde materialen voor met name de missies B en D.

Geavanceerde materialen hebben niet veel raakvlakken met andere sleuteltechnologieën. Meer dan bij andere sleuteltechnologieën zijn toepassingen van geavanceerde materialen vaak een combinatie van de verschillende subgroepen. Zo zijn er bijvoorbeeld coatings gemaakt van biomaterialen die een toepassing hebben binnen energieopslag.

De meeste toepassingen binnen de geavanceerde materialen bevinden zich op TRL-niveau laag-middel; er wordt weliswaar op grote schaal onderzoek gedaan naar- en



geëxperimenteerd met geavanceerde materialen maar ze worden nog niet structureel toegepast.

8 Fiche Nanotechnologie

8.1 Beschrijving

Nanotechnologie (NT) is het gebied van wetenschap en technologie dat zich bezighoudt met het bestuderen van materie op atomaire of moleculaire schaal. Dat betekent dat de afmetingen kleiner zijn dan het 10.000^e deel van een millimeter (1-100 nm). Op die schaal hebben materialen vaak andere fysische en chemische eigenschappen dan op grotere schaal.

Doordat fysische of chemische eigenschappen van een stof aangepast kunnen worden, kunnen er specifieke taken "geprogrammeerd" worden. Een goed voorbeeld van het gebruik van nanotechnologie zijn de MNRA-vaccins²³⁶, maar ook zonnebrand²³⁷. Met name met het oog op het nanomaterialen is er nog veel fundamenteel onderzoek nodig, om goed te begrijpen wat er allemaal mogelijk is met nanotechnologie. Gebaseerd hierop kunnen vervolgens nieuwe toepassingen ontdekt worden.

De belangrijkste technologieën die onder de paraplu van NT's vallen volgens het raamwerk van de KIA Sleuteltechnologieën, zijn:

- **Bio-nanotechnologie:** het snijvlak tussen nanotechnologie en biologie, waarbij het ontwikkelen en toepassen van biologische structuren en artificiële nanodeeltjes op nanometerschaal centraal staat. Voorbeelden van bio-nanotechnologie zijn nanomedicijnen, die bijvoorbeeld op nanoschaal gebruikt kunnen worden om het gedrag van tumoren te beïnvloeden of nano-encapsulatie (of nano-inkapseling) waarbij een bioactieve nanostof omsloten wordt met een nano-coating zodat een gecontroleerde lozing van de bioactieve stof mogelijk is²³⁸.
- **Micro and Nano Fluidics:** het bestuderen en het manipuleren van gedrag van vloeistoffen en gasen op micro-/nanometerschaal. Zo kunnen micro- of nano-fluidic devices gebruikt worden om een bepaalde reactietemperatuur of stroomsnelheid te handhaven. Andere toepassingen van deze technologie zijn medische producten, zoals toedieningsapparatuur voor medicijnen en biosensoren. De lab-on-a-chip technologie, kleine chips waarop verschillende (bio)fysische en (bio)chemische analyses uitgevoerd kunnen worden, behoort ook tot een van de toepassingen.
- **Nanomanufacturing:** het "bouwen" met materialen op de nanoschaal en de technologie die daarvoor nodig is. Voor het maken van chips of nanostructuren wordt bijvoorbeeld gebruik gemaakt van geavanceerde ets- en lithografietechnieken, maar ook depositietechnieken.²³⁹ Een voorbeeld van nanomanufacturing is het produceren van grafeen of koolstofnanobuizen.²⁴⁰ Nanostructuren kunnen ook gebruikt worden als nanofilters, nanosponzen of nanomembranen om bepaalde stoffen te scheiden.
- **Nanomaterialen:** het gebruiken van de eigenschappen van materialen op nanoschaal, zodat afhankelijk van de toepassing een materiaal 'beter' onderdeel kan zijn van een

²³⁶ <https://www.cas.org/resources/cas-insights/drug-discovery/therapeutic-potential-nanotechnology-covid-19>

²³⁷ <https://www.rivm.nl/nanotechnologie/consumentenproducten/gebruik-nanodeeltjes-titaniumdioxide-en-zinkoxide-in-zonnebrandcreme-likt-vooralsnog-veilig>

²³⁸ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7999092/>

²³⁹ <https://www.asml.com/en/technology/all-about-microchips/how-microchips-are-made>

²⁴⁰ <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/carbon-nanotubes>

proces (denk aan supergeleiding of het filteren van olie uit water). Verder staat hier ook het ontwikkelen van nanomaterialen centraal.

- **Nanoscale Devices:** het integreren van nanomaterialen of -technieken in sensoren of apparaten. Voorbeelden hiervan zijn *insideables*, microscopische sensoren die één of meerdere lichaamsfuncties kunnen meten en monitoren.
- **Semiconductor Devices:** apparaten die gemaakt worden van halfgeleiders, die vervolgens met behulp van nanomaterialen of -technieken tot geavanceerde elektrische componenten verfijnd kunnen worden. Een voorbeeld zijn Quantum Dots. Dit zijn nanodeeltjes gemaakt van halfgeleidermateriaal die UV-straling om kunnen zetten in een andere golflengte.²⁴¹

8.2 Bijdrage aan opgaven van LNV

De toepassingen van Nanotechnologie zijn heel breed. Doordat er op atomair of moleculair niveau aanpassingen aan stoffen gedaan kunnen worden, betekent dit dat veranderingen in de eigenschappen van stoffen kunnen leiden tot nieuwe gewassen die beter gedijen in ons klimaat, een veiligere productie en verwerking van voedsel, kleinere sensoren, precisietoediening van medicijnen of het efficiënter filteren van schadelijke stoffen. Nanotechnologie kan aan vrijwel alle Missies een grote bijdrage leveren, zoals aangegeven in Tabel 31. Verder valt op dat de vele toepassingen van Nanotechnologies samengaan met vrijwel alle andere sleuteltechnologieën. Denk bijvoorbeeld aan *Digital Technologies*, *Life Science Technologies*, *Advanced Materials* en *Photonics and Light Technologies*.

Tabel 45 Mate waarin de sleuteltechnologie een bijdrage kan leveren aan opgaven van LNV

Opgave LNV	← kleine bijdrage grote bijdrage →				
Kringlooplandbouw					
Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie					
Klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied					
Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel					
Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren)					
Overige missies van LNV					

Beoordeling Technopolis Group

In de volgende secties van dit document bespreken we tot op een dieper detail de bijdrage van Nanotechnologie aan de verschillende Missies binnen de Kennis- en Innovatie Agenda Landbouw, Water & Voedsel (KIA-LWV) van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.

8.2.1 Missie A: Kringlooplandbouw

Missie A Kringlooplandbouw is erop gericht om binnen de land- en tuinbouwsector veel minder afhankelijk te worden van (nieuwe) grondstoffen. Dit kan door nutriënten duurzaam te gebruiken, reststromen efficiënter te benutten of gewassen robuuster en geschikt voor eiwitproductie te maken. Door beter en doelmatig om te gaan met grondstoffen, kan de landbouw als het ware op zichzelf komen te staan. Tegelijkertijd betekent dit ook dat, door een

²⁴¹ <https://techdetector.de/applications/quantum-dots-qds>

kringlooplandbouw te verwezenlijken, de sector minder emissies uitstoot en de biodiversiteit omhoog kan gaan. Nanotechnologie kan hierbij een grote rol spelen. Op alle Meerjarig Missiegedreven Innovatieprogramma's (MMIP's) zijn er toepassingen voor de sleuteltechnologie Nanotechnologie.

Tabel 46 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Bio-nanotechnologie	Micro and Nano Fluidics	Nanomanufacturing	Nanomaterialen	Nanoscale Devices	Semiconductor Devices
A1	Verminderen fossiele nutriënten en emissies naar bodem, water en lucht						
A2	Ontwikkeling van robuuste teeltsystemen op een gezonde bodem en substraat op basis van agro-ecologische principes						
A3	Optimalisering van het hergebruik van zij- en reststromen						
A4	Ontwikkeling van nieuwe plantaardige eiwitbronnen binnen Europa voor voedsel en diervoeders						
A5	Inzicht in hoe biodiversiteit kan worden hersteld en benut in de kringlooplandbouw						

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

- Het **ontwikkelen van nieuwe, robuustere gewassen (TRL: middel-hoog)** kan in sommige gevallen gedaan worden met behulp van Nanotechnologies^{242,243} (in combinatie met Life Science Technologies). Een voorbeeld van de toepassing hiervan is de introductie van gewassen die beter bestand zijn tegen (a)biotische stress (MMIP A2). Zulke gewassen zijn ook beter bestand tegen klimaatverandering (droogte, hogere temperaturen en extreme evenementen). Tegelijkertijd kunnen nieuwe eiwithoudende gewassen ontwikkeld en gebruikt worden als een lokale bron van proteïnen voor veevoer en voedsel voor mensen (MMIP A4). Deze **bio-nanotechnologie** is in het laboratorium gedemonstreerd. Verder zijn er ook meerdere voorbeelden van producten die commercialisatie naderen.^{244,245}

²⁴² Nature Index. 2022. Improving crop resilience with nanoparticles. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/d41586-022-02151-7>

²⁴³ Nanodeeltjes met genoom-herschrijvende bestandsdelen (CRISPR-Cas) kunnen cellen van planten binnen dringen aan de hand van de lipid exchange envelope penetration (LEEP)-technologie (CRISPR-Cas valt onder Life Science Technologies). Vervolgens kunnen met behulp van de CRISPR-technologie nanodeeltjes ontworpen worden die het genoom van de plant kunnen herschrijven. Door middel van nanoencapsulatie en de LEEP-technologie kunnen de nanodeeltjes, bijvoorbeeld gebaseerd op koolstofnanobuizen, titaandioxide of siliciumdioxide, bezorgd worden op een specifieke locatie in een cel.

²⁴⁴ Zaidi, S.SeA., Mahas, A., Vanderschuren, H. *et al.* Engineering crops of the future: CRISPR approaches to develop climate-resilient and disease-resistant plants. *Genome Biol* **21**, 289 (2020). <https://doi.org/10.1186/s13059-020-02204-y>

²⁴⁵ Johnson S. L. (2022). A Year at the Forefront of Engineering Photosynthesis. *Biology open*, 11(7), bio059335. <https://doi.org/10.1242/bio.059335>

- **Nano-encapsulatie** (waar bio-nanotechnologie en nanomaterialen samenkomen) **in de vorm van nanofertilizers^{246,247} en nanopesticiden²⁴⁸ (TRL: hoog)** kunnen in de precisielandbouw gebruikt worden. Hierdoor kunnen precieze hoeveelheden mest of bestrijdingsmiddelen afgeleverd worden aan een gewas. Door de hogere efficiëntie hoeven er minder nutriënten gebruikt te worden (MMIP A1), komen er minder emissies vrij (MMIP A2) en kan er een plant-specifieke hoeveelheid nutriënten toegepast worden (MMIP A4). Nano-silicium wordt gezien als een goed voorbeeld van nanofertilizers. Deze technologie heeft een hoog TRL-niveau, aangezien het al vaker gedemonstreerd is in de operationele omgeving.^{249,250,251}
- **Nanodevices en -sensoren voor het detecteren van gewasbeschermingsmiddelen, zware metalen of andere contaminanten (TRL: middel)** (MMIP A2, A5). Door nanosensoren in planten te integreren ontstaat er een nieuwe mogelijkheid om te monitoren of een gewas stress ervaart of nutriënten mist. Omdat stress ervoor zorgt dat de niveaus van stoffen zoals glucose of waterstofperoxide veranderen in plant, is het mogelijk om met stimuli responsieve nanomaterialen de bladeren van een plant te laten oplichten wanneer dit gebeurt.²⁵² Deze veranderingen kunnen vervolgens gemeten worden door geavanceerde camera's. Andere type nanosensoren zijn *wearables* en genetisch gecodeerde biosensoren.²⁵³ Ondanks dat deze technologieën zeer veelbelovend zijn, zijn ze tot nu toe grotendeels alleen onder gecontroleerde omstandigheden in laboratoria of kassen gevalideerd.
- **Nanostructuren of bio-nanomaterialen** (zoals materialen die gebruikt worden voor biokatalyse (zie sleuteltechnologie Chemische Technologie)) **voor het verwijderen van emissies uit de land- en tuinbouw. (TRL: middel)** Voorbeelden hiervan zijn **nanofilters, nanosponzen, nanomembranen** of andere producten waaraan schadelijke stoffen kunnen plakken. Zo kunnen nanosponzen gemaakt met nanomaterialen gewasbeschermingsmiddelen, meststoffen, olie en farmaceutische producten uit vloeistoffen scheiden. Verder kunnen nanomembranen ook CO₂, methaan of vluchtige organische stoffen filteren (MMIP A1)^{254,255,256,257}. Hoewel de techniek veel potentie heeft, is

²⁴⁶ <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jafc.7b02178>

²⁴⁷ Volgens Mastronardi, E., Tsae, P., Zhang, X., Monreal, C., DeRosa, M.C. (2015). Strategic Role of Nanotechnology in Fertilizers: Potential and Limitations. In: Rai, M., Ribeiro, C., Mattoso, L., Duran, N. (eds) Nanotechnologies in Food and Agriculture. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14024-7_2 is encapsulatie een van de drie vormen van nanofertilizers.

²⁴⁸ <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jafc.5b05214>

²⁴⁹ <https://techdetector.de/applications/nano-silica-fertilizer>

²⁵⁰ Tayade, R., Ghimire, A., Khan, W., Lay, L., Attipoe, J. Q., & Kim, Y. (2022). Silicon as a Smart Fertilizer for Sustainability and Crop Improvement. *Biomolecules*, 12(8), 1027. <https://doi.org/10.3390/biom12081027>

²⁵¹ <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.865048/full>

²⁵² Honghong Wu, Robert Nibler, Victoria Morris, Niklas Herrmann, Peiguang Hu, Su-Ji Jeon, Sebastian Kruss, and Juan Pablo Giraldo. (2020). Monitoring Plant Health with Near-Infrared Fluorescent H₂O₂ Nanosensors. *Nano Letters* 20 (4), 2432-2442. DOI: 10.1021/acs.nanolett.9b05159

²⁵³ Giraldo, J.P., Wu, H., Newkirk, G.M. et al. Nanobiotechnology approaches for engineering smart plant sensors. *Nat. Nanotechnol.* **14**, 541–553 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0470-6>

²⁵⁴ Marius Sandru et al, An integrated materials approach to ultrapermeable and ultraspecific CO₂ polymer membranes, *Science* (2022). DOI: 10.1126/science.abi9351

²⁵⁵ <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0957-4484/21/39/395301>

²⁵⁶ <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=5597>

²⁵⁷ Snyder, B.E.R., Turkiewicz, A.B., Furukawa, H. et al. A ligand insertion mechanism for cooperative NH₃ capture in metal-organic frameworks. *Nature* **613**, 287–291 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05409-2>

grootschalige toepassing door instabiliteit nog niet binnen bereik. Een andere toepassing van nanostructuren is het scheiden, isoleren en purificeren van eiwitten en zij- en reststromen (bijvoorbeeld door biokatalyse). Stimuli responsieve nanomaterialen kunnen dit bijvoorbeeld doen door vloeistoffen langs elektrische of magnetische nanostructuren te laten gaan (MMIPA4). Door het hebben van puurdere zij- en rest stromen wordt het hergebruik van de materialen makkelijker en is er minder vraag voor fossiele grondstoffen nodig (MMIP A3). Deze processen worden momenteel door universiteiten onderzocht samen met ketenpartners.²⁵⁸

- **Soil conditioning door middel van bio-nanotechnologie (TRL: laag-middel)** kan de bodemkwaliteit, en dus ook de stabiliteit van water in de bodem verbeteren (specifiek: nanozeolieten en nanohydrogels) (MMIP A2). Een goede bodemkwaliteit kan ervoor zorgen dat planten ziekteverwekkers beter kunnen bestrijden en er daardoor minder gewasbeschermingsmiddelen gebruikt hoeven te worden.²⁵⁹ Momenteel worden hydrogels hiervoor al gebruikt. De toepassing van deze technieken op nanoschaal zijn een stuk moeilijker, doordat de huidige toepassingen efficiënt zijn en doordat er buiten het laboratorium weinig onderzoek naar gedaan is.²⁶⁰ Een kanttekening voor soil conditioning is dat niet nodig is als de grond gezond is. Een andere toepassing van nanozeolieten is het absorberen van methaan uit de lucht (MMIP A1). Dit is echter alleen nog in het laboratorium aangetoond.²⁶¹

8.2.2 Missie B: Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie

Missie B betreft het ontwikkelen van een klimaatneutrale landbouw en voedselproductie. Dit kan gerealiseerd worden door enerzijds het omlaag brengen van emissies, bijvoorbeeld door de veehouderij en bemesting te verduurzamen. Anderzijds is het streven om koolstofvastlegging in de bodem of natuur te verhogen, zuiniger met energie om te gaan en een bredere focus te hebben op het lokaal produceren van duurzame energie in plaats van het gebruiken van fossiele brandstoffen. Binnen Missie B hebben alle sub-technologieën, behalve de *micro-* en *nanofluidics*, toepassingen.

²⁵⁸ <https://ispt.eu/projects/ReCoVR/>

²⁵⁹ Wei, Z., Gu, Y., Friman, V. P., Kowalchuk, G. A., Xu, Y., Shen, Q., & Jousset, A. (2019). Initial soil microbiome composition and functioning predetermine future plant health. *Science advances*, 5(9), eaaw0759. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aaw0759>

²⁶⁰ Hofmann, T., Lowry, G.V., Ghoshal, S. *et al.* Technology readiness and overcoming barriers to sustainably implement nanotechnology-enabled plant agriculture. *Nat Food* 1, 416–425 (2020). <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0110-1>

²⁶¹ Rebecca J. Brenneis, Eric P. Johnson, Wenbo Shi, and Desiree L. Plata. Atmospheric- and Low-Level Methane Abatement via an Earth-Abundant Catalyst. *ACS Environmental Au* 2022 2 (3), 223-231. DOI:10.1021/acsenvironau.1c00034 .

Tabel 47 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Bio-nanotechnologie	Micro and Nano Fluidics	Nanomanufacturing	Nanomaterialen	Nanoscale Devices	Semiconductor Devices
B1	Reductie van de uitstoot van methaan in de veehouderij						
B2	Vermindering van de uitstoot van lachgas bij de bemesting van landbouwbodems en bij de vollegrondsteelt						
B3	Vermindering van oxidatie in de veenweidegebieden						
B4	Verhoging vastlegging van koolstof in landbouwbodems, bij vollegrondsteelt, in bos en natuur						
B5	Vermindering van energieverbruik in glastuinbouw						
B6	Toename productie en gebruik van biomassa (biograndstoffen)						

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

- **Precisiebemesting met nanofertilisers (TRL: laag-middel)** kan bijdragen aan emissiereductie in landbouwbodems. Bepaalde coatings, zoals nanozeoliet-coatings, kunnen voedingsstoffen in de bodem beter vasthouden en zorgen ervoor dat deze voedingsstoffen langzaam afgegeven worden aan het gewas.²⁶² Bodemverbeteraars op basis van zeoliet zijn al op de markt.²⁶³ Toepassingen op nanoschaal zijn echter weinig buiten het laboratorium getest (TRL laag).²⁶⁴ Precisiebemesting met **nanoencapsulatie** is wat betreft TRL-niveau verder (TRL middel).²⁶⁵ Hierdoor kunnen planten veel efficiënter bemest worden en minder mest betekent ook minder fossiele stoffen die nodig zijn voor het telen van gewassen (MMIP B2).
- Binnen Missie B heeft het ontwikkelen van **nieuwe gewassen** veel toepassingen (voor meer informatie, zie Missie A). Nieuwe gewassen kunnen ervoor zorgen dat gewassen meer koolstof opvangen, het fotosynthese-proces beter kan plaatsvinden, gewassen minder mestproducten nodig hebben, gewassen beter gedijen in de glastuinbouw en geschikt zijn voor de productie van biomassa (MMIP B2, MMIP B4, MMIP B5 en MMIP B6).²⁶⁶
- **Folies met fotoconversie nanodeeltjes voor betere plantengroei (TRL: middel-hoog).** Bepaalde delen van het optisch spectrum zijn geschikter voor de fotosynthese dan andere delen. UV-straling en andere soorten straling kunnen door folies met fotoconversie

²⁶² <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/3/448>²⁶³ <https://www.zeolite-products.com/agrarisch/zeofert-de-vulkanische-bodemverbeteraar/>²⁶⁴ Hofmann, T., Lowry, G.V., Ghoshal, S. et al. Technology readiness and overcoming barriers to sustainably implement nanotechnology-enabled plant agriculture. *Nat Food* 1, 416–425 (2020). <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0110-1>²⁶⁵ Ibid.²⁶⁶ Manzoor, N., Ali, L., Ahmed, T., Noman, M., Adrees, M., Shahid, M. S., Ogunyemi, S. O., Radwan, K. S. A., Wang, G., & Zaki, H. E. M. (2022). Recent Advancements and Development in Nano-Enabled Agriculture for Improving Abiotic Stress Tolerance in Plants. *Frontiers in plant science*, 13, 951752. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.951752>

nanodeeltjes (quantum dots) omgezet worden in geschiktere soorten straling. Vervolgens kunnen planten beter groeien in bijvoorbeeld de glastuinbouw (MMIP B5)²⁶⁷. Dit is al uitgebreid in operationele omgevingen getest.²⁶⁸

- **Verbeterde zonnecellen door middel van nanomaterialen (TRL: middel-hoog).** Quantum dots of nanomaterialen kunnen een coating vormen op fotonvoltaïsche (PV) modules. Licht kan door de coating zo optimaal mogelijk op de zonnecellen vallen, waardoor ze efficiënter, goedkoper of flexibel kunnen worden.^{269,270,271} (MMIPB5). De verbeterde zonnecellen kunnen mogelijk ingezet worden in veengebieden, zoals het SolarEcoPlus-project momenteel onderzoek (MMIP B3 en MMIP E1).²⁷² Ook kunnen tweezijdig werkende PV-panelen, transparante of perovskiete PV-materialen of drijvende zonneparken gebruikt worden voor veen-ondergronden (TRL middel-hoog).^{273,274}
- **Nanosensoren voor monitoren luchtkwaliteit (TRL: laag).** Nanosensoren met metaaloxide-nanostructuur kunnen goed gebruikt worden voor het monitoren van de luchtkwaliteit en andere natuurlijke gassen, zoals ammoniak^{275,276}. Zulke sensoren kunnen gebruikt worden om broeikasgasemissies uit de veehouderij, emissies uit de kassen te monitoren of om de effecten van het bemesten van landbouwgrond in kaart te brengen (MMIP B1, MMIP B2 en MMIP B5).²⁷⁷

8.2.3 Missie C: Klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied

Met het oog op klimaatverandering is het belangrijk dat landelijk en stedelijk gebied, maar ook de land- en tuinbouw met veranderende waterstanden en extreme regenval kunnen omgaan. *Bio-nanotechnologie*, *nanomanufacturing* en *nanomaterials* hebben meerdere toepassingen. Ook *Micro and Nano Fluidics* en *Nanoscale Devices* kunnen mogelijk bijdragen aan Missie C. Alleen *Semiconductor Devices* heeft geen toepassingen voor Missie C.

²⁶⁷ <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphy.2020.616040/full>

²⁶⁸ Hebert, D., Boonekamp, J., Parrish, C. H., 2nd, Ramasamy, K., Makarov, N. S., Castañeda, C., Schuddebeurs, L., McDaniel, H., & Bergren, M. R. (2022). Luminescent quantum dot films improve light use efficiency and crop quality in greenhouse horticulture. *Frontiers in chemistry*, 10, 988227. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.988227>

²⁶⁹ <https://nano4society.nl/ecosystem/history/highlights/nano4energy/>

²⁷⁰ Kim, M., Jeong, J., Lu, H., Lee, T.K., Eickemeyer, F.T., Liu, Y., Choi, I.W., Choi, S.J., Jo, Y., Kim, H.B. and Mo, S.I., (2022). Conformal quantum dot-SnO₂ layers as electron transporters for efficient perovskite solar cells. *Science*, 375(6578), pp.302-306.

²⁷¹ Hu, L., Zhao, Q., Huang, S. *et al.* Flexible and efficient perovskite quantum dot solar cells via hybrid interfacial architecture. *Nat Commun* **12**, 466 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20749-1>

²⁷² <https://www.wur.nl/nl/onderzoek-resultaten/onderzoeksprojecten-Inv/expertisegebieden/kennisonline/solarecoplus-.htm>

²⁷³ <https://www.pv-magazine.com/2021/11/09/quantum-dot-solar-window-with-3-6-efficiency/>

²⁷⁴ <https://www.betterenergy.com/news/better-energy-launches-solar-park-designed-for-lowlands/>

²⁷⁵ Snyder, B.E.R., Turkiewicz, A.B., Furukawa, H. *et al.* A ligand insertion mechanism for cooperative NH₃ capture in metal-organic frameworks. *Nature* **613**, 287–291 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05409-2>

²⁷⁶ <https://www.mdpi.com/2079-4991/11/8/1927>

²⁷⁷ <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=5980>

Tabel 48 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Bio-nanotechnologie	Micro and Nano Fluidics	Nanomanufacturing	Nanomaterialen	Nanoscale Devices	Semiconductor Devices
C1	Voorkomen van wateroverlast en watertekort in landelijk (en stedelijk) gebied						
C2	Ontwikkeling van klimaatbestendige land- en tuinbouwproductiesystemen						
C4	Verbeteren van de waterkwaliteit						

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

- Binnen Missie C kan de ontwikkeling van **nieuwe gewassen** door middel van het introduceren van genoom-herschrijvende nanodeeltjes in de cellen van gewassen (zie ook Missie A) een belangrijke rol spelen. Klimaatadaptieve rassen die beter bestand zijn tegen droogte, hittestress, hoge zoutgehaltes of andere effecten van klimaatverandering of extreme klimaatverschijnselen zorgen ervoor dat ondernemers in de land- en tuinbouw beter voorbereid zijn (MMIP C2) (**TRL: laag-middel**).²⁷⁸
- **Hydrogels, nanomaterialen, nanosponzen en nanomaterialen voor het vasthouden en filteren/zuiveren van water (TRL: laag-midden)**. Bionanomaterialen zoals hydrogels (MMIP C1) kunnen de vochthoudende capaciteit van de bodem verhogen, als de grond daar zelf niet toe in staat is.²⁷⁹ Dat betekent dat er meer water vastgehouden kan worden en dat de landbouw minder schaars grondwater moet oppompen. Tegelijkertijd kunnen nanomaterialen en bionanotechnologie helpen bij het filteren van water. Tegenwoordig gebeurt dat al met behulp van nanofiltratie²⁸⁰ of biokatalyse²⁸¹. In de toekomst kunnen deze technieken aangevuld worden met nanomembranen en nanosponzen, die efficiënt en snel afvalwater kunnen zuiveren door het hoge absorptieniveau van bepaalde nanostructuren (zoals covalent organic frameworks)^{282,283}. Deze toepassing zorgt er dan ook voor dat er meer afvalwater hergebruikt kan worden en dat er dus minder vervuilende stoffen naar grond- en oppervlaktewater stromen, wat de waterkwaliteit bevordert (MMIP

²⁷⁸ Manzoor, N., Ali, L., Ahmed, T., Noman, M., Adrees, M., Shahid, M. S., Ogunyemi, S. O., Radwan, K. S. A., Wang, G., & Zaki, H. E. M. (2022). Recent Advancements and Development in Nano-Enabled Agriculture for Improving Abiotic Stress Tolerance in Plants. *Frontiers in plant science*, 13, 951752. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.951752>

²⁷⁹ <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/3/448>

²⁸⁰ <https://emis.vito.be/en/node/19249>

²⁸¹ Nasrollahzadeh M, Sajjadi M, Iravani S, Varma RS. Green-synthesized nanocatalysts and nanomaterials for water treatment: Current challenges and future perspectives. *J Hazard Mater*. 2021 Jan 5;401:123401. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123401. Epub 2020 Jul 7. PMID: 32763697; PMCID: PMC7606836.

²⁸² <https://phys.org/news/2022-08-nano-sponges-potential-rapid-wastewater-treatment.html>

²⁸³ Khraisheh M, Elhenawy S, AlMomani F, Al-Ghouti M, Hassan MK, Hameed BH. Recent Progress on Nanomaterial-Based Membranes for Water Treatment. *Membranes (Basel)*. 2021 Dec 20;11(12):995. doi: 10.3390/membranes11120995. PMID: 34940495; PMCID: PMC8709222.

C1 en MMIP C4). Onderzoek geeft wel aan dat de werking van deze membranen beter moet worden voordat het op grote schaal gebruikt kan worden.

- **Nanosensoren voor het monitoren van waterkwaliteit en detecteren van schadelijke stoffen (TRL: laag).** Nanosensoren kunnen gebruikt worden om de waterkwaliteit te monitoren en bepaalde schadelijke stoffen te detecteren (MMIP C4). Zo ontwikkelen onderzoekers in de VS een nanosensor die met behulp van enzymen bestrijdingsmiddelen kan detecteren.²⁸⁴ Wetenschappers hebben recentelijk ook een sensor ontwikkeld die constant de kwaliteit van een vloeistof in een waterleiding kan monitoren.²⁸⁵ Ondanks dat dit nog een laag TRL-niveau heeft, kan deze toepassing het monitoren van waterkwaliteit makkelijker maken.

8.2.4 Misse D: Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel

Missie D richt zich op het voedselproductiesysteem. In de toekomst moet in Nederland duurzaam en gezonde voeding de standaard zijn. Het verwerken van voedsel en de primaire voedselproductie moet tegelijkertijd ook duurzaam en veilig zijn.

Tabel 49 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

		Bio-nanotechnologie	Micro and Nano Fluidics	Nanomanufacturing	Nanomaterialen	Nanoscale Devices	Semiconductor Devices
MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)						
D2	Stimuleren van het produceren en consumeren van gezond en duurzaam voedsel						
D3	Ontwikkelen van veilige, duurzame productiesystemen zonder risico's voor de omgeving						
D4	Ontwikkelen van een substantieel duurzamer en veiliger voedselketen						

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

- Bio-Nanotechnologies kunnen gebruikt worden om de smaak, textuur en consistentie van voedsel te verbeteren. Zo kan **nanoencapsulatie** zorgen dat smaken tijdens het eten van voedsel gecontroleerd vrijgelaten worden, voedingsstoffen het voedsel beter beschermen tegen warmte en Uv-straling en er ook voor zorgen dat nutriënten, vitamines of proteïnes in het lichaam vrijkomen waar ze het beste hun werk kunnen doen.^{286,287} *Personalised food*

²⁸⁴ <https://www.usda.gov/media/blog/2019/11/15/new-nanosensor-detects-microscopic-contaminants-water>

²⁸⁵ Kou Li, Teppei Araki, Ryogo Utaki, Yu Tokumoto, Meiling Sun, Satsuki Yasui, Naoko Kurihira, Yuko Kasai, Daichi Suzuki, Ruben Marteijn, Jaap M.J. den Toonder, Tsuyoshi Sekitani, Yukio Kawano. Stretchable broadband photo-sensor sheets for nonsampling, source-free, and label-free chemical monitoring by simple deformable wrapping. *Science Advances*, 2022; 8 (19) DOI: [10.1126/sciadv.abm4349](https://doi.org/10.1126/sciadv.abm4349)

²⁸⁶ Singh Trepti, Shukla Shruti, Kumar Pradeep, Wahla Verinder, Bajpai Vivek K., Rather Irfan A., (2018). Application of Nanotechnology in Food Science: Perception and Overview, *Frontiers in Microbiology*, 8, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2017.01501/full>

²⁸⁷ Ozturk, B., Argin, S., Ozilgen, M., & McClements, D. J. (2015). Formation and stabilization of nanoemulsion-based vitamin E delivery systems using natural biopolymers: Whey protein isolate and gum arabic. *Food Chemistry*, 188, 256-263. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.005>

ligt op de intersectie tussen de beleidsgebieden van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselveiligheid en het Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport. Nanoencapsulatie kan ook gebruikt worden voor **medicijnen** (in de vorm van nanomedicijnen) en **voedingstoffen** voor zowel dier- als mensgebruik (MMIP D2, MMIP D3).^{288,289} Nanodeeltjes, waaronder zinkoxide, kunnen, doordat het als antibacterieel middel werkt en de immuniteit kan moduleren, als supplement in het voedsel gebruikt worden om de groei van dieren te bevorderen.^{290,291} Dit is aangetoond in het geval van kweekvissen.²⁹² In nanomedicijnen kunnen nanodeeltjes gebruikt worden als vervoerders van antibacteriële middelen, schimmelwerende middelen, antivirale middelen, verdovingsmiddelen, anti-parasitaire middelen en vaccins^{293,294} (MMIP D3).

- **Nanosensoren voor monitoren voedselkwaliteit (TRL: laag-middel).** Nanosensoren kunnen gebruikt worden voor de evaluatie van voedselkwaliteit tijdens de primaire productie en de verwerking ervan (MMIP D3 en MMIP D4). Zo kunnen nanosensoren pathogenen, zware metalen, chemische verontreinigingen en voedselbestanddelen ontdekken.^{295,296} Ook kunnen ze gebruikt worden om gewassen te monitoren (MMIPA1). Met de data van de sensoren kunnen vervolgens planten op maat voeding krijgen, om een zo gezond mogelijke samenstelling van inhoudsstoffen creëren (MMIPD2).²⁹⁷
- **Verpakkingen met nanomaterialen tegen voedselverspilling (TRL: laag).** Voedselverpakkingen waarin nanomaterialen geïntegreerd worden kunnen een belangrijke rol gaan spelen in kwaliteitscontrole en -behoud van producten en het tegengaan van voedselverspilling (MMIP D4). Ook behoort het gebruiken van een stimuli responsief nanomateriaal als indicator voor de versheid van producten tot een van de mogelijkheden.²⁹⁸ Dergelijke verpakkingen kunnen mogelijk een goede barrière vormen tegen zuurstof en vocht.²⁹⁹ Verder kan het ook de houdbaarheid van voedsel verlengen door bederf te voorkomen en verspilling tegen te gaan. Zo kunnen grafeenlagen ook biodegradable voedselverpakkingen versterken.³⁰⁰ Echter het is belangrijk dat er

²⁸⁸ <https://www.nifa.usda.gov/about-nifa/impacts/nanotechnology-agriculture-food-systems>

²⁸⁹ Hill, E.K., Li, J. Current and future prospects for nanotechnology in animal production. *J Animal Sci Biotechnol* **8**, 26 (2017). <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0157-5>

²⁹⁰ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405654516300348>

²⁹¹ NanoFEED, Horizon 2020-project; <https://cordis.europa.eu/project/id/778098>

²⁹² <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468550X21001623>

²⁹³ Carvalho, S. G., Araujo, V. H. S., Dos Santos, A. M., Duarte, J. L., Silvestre, A. L. P., Fonseca-Santos, B., Villanova, J. C. O., Gremião, M. P. D., & Chorilli, M. (2020). Advances and challenges in nanocarriers and nanomedicines for veterinary application. *International journal of pharmaceutics*, 580, 119214. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2020.119214>

²⁹⁴ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468550X21001623>

²⁹⁵ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713521001559>

²⁹⁶ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468550X21001623#bib43>

²⁹⁷ D. Manoj, S. Shanmugasundaram, C. Anandharamakrishnan, Nanosensing and nanobiosensing: Concepts, methods, and applications for quality evaluation of liquid foods, *Food Control*, Volume 126, 2021, 108017, Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108017>

²⁹⁸ Sistani, S., & Shekarchizadeh, H. (2022). Applications of Quantum Dots in the Food Industry. In (Ed.), *Quantum Dots - Recent Advances, New Perspectives and Contemporary Applications* [Working Title]. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.107190>

²⁹⁹ Sattar, T. Current Review on Synthesis, Composites and Multifunctional Properties of Graphene. *Top Curr Chem (Z)* **377**, 10 (2019). <https://doi.org/10.1007/s41061-019-0235-6>

³⁰⁰ [https://research.wur.nl/en/publications/sandwich-architected-poly\(lactic-acid\)-graphene-composite-food-pa](https://research.wur.nl/en/publications/sandwich-architected-poly(lactic-acid)-graphene-composite-food-pa)

onderzoek gedaan wordt naar de toxiciteit en milieueffecten van dergelijke verpakkingen voordat ze wijdverspreid gebruikt gaan worden (TRL laag).

- **Elektrodynamisch drogen met nanogestructureerde elektroden (TRL: laag-middel).** In de levensmiddelenindustrie worden veel energie- en waterintensieve industriële processen gebruikt. Door middel van nanomaterialen kunnen deze processen duurzamer ingericht worden (MMIPD4). Zo worden veel producten en ingrediënten thermisch gedroogd. Met behulp van stimuli responsieve nanomaterialen kan bijvoorbeeld elektriciteit gebruikt worden om water uit stoffen te onttrekken. In het lab worden hier, en over het scheiden, isoleren en purificeren van andere stoffen, momenteel experimenten over uitgevoerd.^{301,302,303} Ditzelfde proces kan ook eiwitten isoleren en purificeren, waardoor bijvoorbeeld het productieproces voor alternatieve eiwitbronnen duurzamer kan worden en er minder zij- en reststromen zijn (MMIP A4).

8.2.5 Missie E: Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren

Het is uiterst belangrijk om de Noordzee ook mee te nemen in de toekomst van ons land, aangezien haar invloed op het milieu en het economisch en sociale systeem aanwezig is. Met name met het oog op het verwachte verhoogde aantal activiteiten op de Noordzee is het belangrijk om duurzaam te werk te gaan. Beide MMIP's hebben baat bij Nanotechnologies.

Tabel 50 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Bio-nanotechnologie	Micro and Nano Fluidics	Nanomanufacturing	Nanomaterialen	Nanoscale Devices	Semiconductor Devices
E1	Balans tussen economische activiteiten op zee, zoals de opwekking van hernieuwbare energie en de productie van voedsel en de ruimtelijke en ecologische draagkracht van de Noordzee						
E5	Ontwikkeling van een duurzame kust- en zeevisserij op de Noordzee						

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

- **Nanostructuren tegen ontziltting en verontreiniging van water. (TRL: laag-midden).** Nanostructuren kunnen ingezet worden om de Noordzee schoner te krijgen (MMIP E1), zowel bij acute problemen als in het algemeen. Zo kunnen biokatalyse (Sleuteltechnologie Chemische Technologie) en andere nanostructuren mogelijk gebruikt worden om

³⁰¹ <https://www.sfifood.nl/projects/nonthermaldehydration>

³⁰² <https://ispt.eu/projects/ReCoVR/>

³⁰³ <https://www.sfifood.nl/projects/sustainable-plant-fractionation>

olielekkages effectief op te ruimen^{304,305}. Verder kunnen ze ook water ontzilten, zware metalen uit het water filteren en ook organische vervuilende stoffen onschadelijk maken.^{306,307} Het is echter van groot belang dat er onderzoek uitgevoerd wordt om te onderzoeken wat de vervuiling en de toxiciteit van zulke materialen is (voor van toepassing van grootschalige toepassing in de natuur) en naar selectiviteit en doorlaatbaarheid van de structuren om ze te verbeteren.³⁰⁸

- **Nanosensoren voor meten waterkwaliteit (TRL: middel).** Nanosensoren kunnen efficiënt verschillende parameters zoals verontreinigende stoffen, voedingswaarden en de waterkwaliteit meten.³⁰⁹ (MMIP E1)
- **Nanomaterialen voor floating solar farms (TRL: middel).** De ontwikkelingen van zonnecellen door nanomaterialen of quantum dots is interessant voor energieproductie op de Noordzee in de vorm van floating solar farms of transparante zonnecellen. Dit sluit aan bij de mogelijkheid om natuur te combineren met andere functies zoals visserij en energieproductie (MMIP E1 en MMIP E5). In het geval van de transparante zonnecellen bestaat er een mogelijkheid om deze energieproductie natuur-inclusief te ontwerpen, doordat de cel zonlicht doorlaat is er relatief minder impact op de natuur.^{310,311}

8.2.6 Overige missies van LNV

Voor de overige missies van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit zijn geen toepassingen van Nanotechnologies gevonden.

Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Bio-nanotechnologie	Micro and Nano Fluidics	Nanomanufacturing	Nanomaterialen	Nanoscale Devices	Semiconductor Devices
LVN2	Verhogen Brede Maatschappelijke Welvaart in het landelijk gebied						
LVN3	Doelen van de Vogel- en Habitatrichtlijn in Nederland zijn bereikt en de Nederlandse ecologische voetafdruk is gehalveerd						

³⁰⁴ Abdullah, T.A., Juzsakova, T., Hafad, S.A. *et al.* Functionalized multi-walled carbon nanotubes for oil spill cleanup from water. *Clean Techn Environ Policy* **24**, 519–541 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02104-0>

³⁰⁵ Kukkar, D., Rani, A., Kumar, V., Younis, S. A., Zhang, M., Lee, S.-S., Tsang, D. C. W., & Kim, K.-H. (2020). Recent advances in carbon nanotube sponge-based Sorption Technologies for mitigation of Marine Oil Spills. *Journal of Colloid and Interface Science*, 570, 411–422. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.03.006>

³⁰⁶ <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/admi.202101260>

³⁰⁷ <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2017.01014/full>

³⁰⁸ Khraisheh M, Elhenawy S, AlMomani F, Al-Ghouti M, Hassan MK, Hameed BH. Recent Progress on Nanomaterial-Based Membranes for Water Treatment. *Membranes* (Basel). 2021 Dec 20;11(12):995. doi: 10.3390/membranes11120995. PMID: 34940495; PMCID: PMC8709222.

³⁰⁹ <https://www.usda.gov/media/blog/2019/11/15/new-nanosensor-detects-microscopic-contaminants-water>

³¹⁰ <https://www.tno.nl/en/sustainable/renewable-electricity/sustainable-solar-land-water/floating-solar-panels/>

³¹¹ https://www.renewableenergymagazine.com/pv_solar/midsummer-supplies-ultralight-solar-panels-for-dutch-20211129

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Bio-nanotechnologie	Micro and Nano Fluidics	Nanomanufacturing	Nanomaterialen	Nanoscale Devices	Semiconductor Devices
LNV4	Gezelschapsdieren en dieren voor vermaak zijn fysiek en mentaal gezond						

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

8.3 Relevante initiatieven en organisaties in Nederland

In Nederland zijn er al enkele decennia veel initiatieven op het gebied van nanotechnologie. Zo zijn er sectorbrede initiatieven, *industry leaders*, veel universiteiten met een focus op verschillende niche-toepassingen en investeert de overheid in de ontwikkeling van Nanotechnologies in het algemeen. Figuur 7 geeft een overzicht van de kwantitatieve analyse van verschillende databases. Hieruit komt naar voren dat vooral universiteiten betrokken zijn in het onderzoek en innovaties op het gebied van nanotechnologie en de KIA LWV.

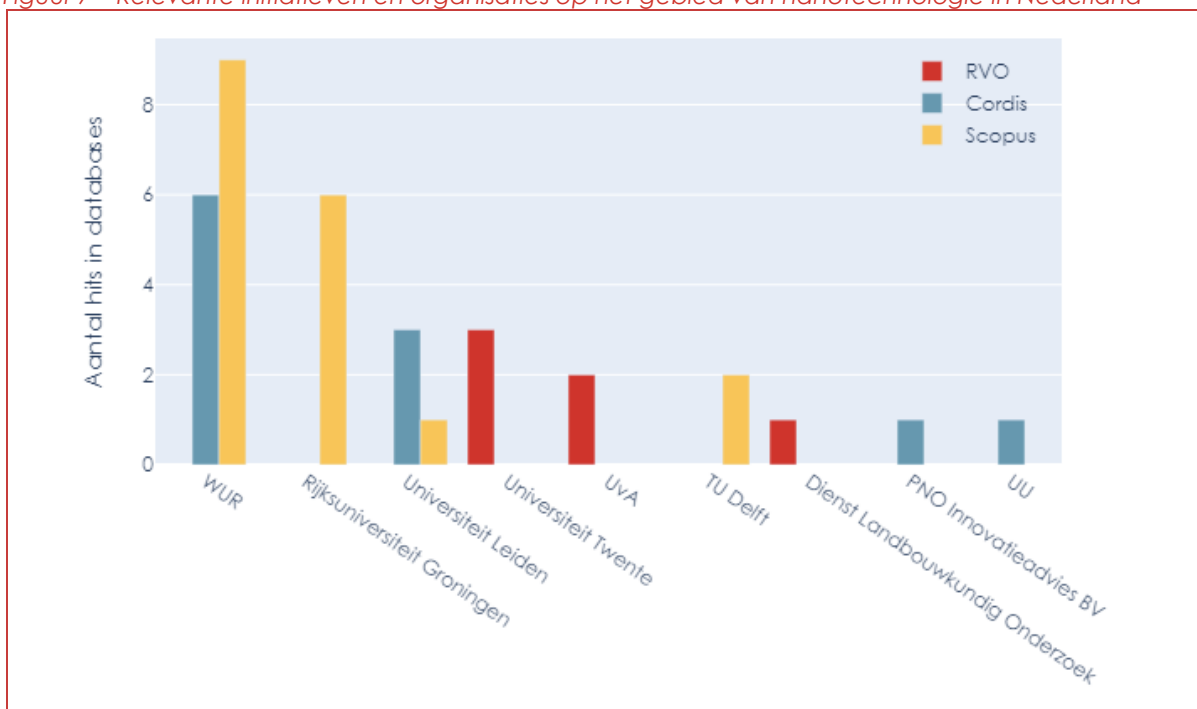
We benoemen hieronder een selectie van relevante Nederlandse nanotechnologie stakeholders:

- **Nano4Society:** is een samenwerkingsverband van NanoNextNL en MinacNed, academici en bedrijven. Uiteindelijk heeft het als doel om innovaties op nanogebied te verbinden aan missiedreven innovatie thema's als Health, Sustainability, Agro& Food & Security.
- **NanolabNL:** de Nederlandse nationale faciliteit voor onderzoek en ontwikkeling in Nanotechnologies. De volgende onderzoekslaboratoria werken samen onder de mantel van NanolabNL: Zernike Nanolab, MESA+ Lab, AMOLF Nanolab, Kavli Nanolab, Ese Kooi Lab, TNO Nanolab, NanoLab@TU/e.
- **MinacNed:** is de Nederlandse branchevereniging van bedrijven in microsystemen en nanotechnologie. Het doel van de branchevereniging is om de economische activiteit te versterken op basis van microsystemen en nanotechnologie.
- **NXTGEN HIGHTECH:** is een Nationaal Groeifonds programma gericht op de ontwikkeling van next generation High Tech Equipment voor de hightechindustrie. De focus ligt onder andere op het ondersteunen van duurzame energie, gezondheid, snellere chips en robotica in de land- en tuinbouw, allen gebieden waar Nanotechnologies gebruikt worden.
- **TNO:** is de Nederlandse organisatie voor toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek. TNO heeft veel nanotechnologie expertise in huis. Zo is Nanocentre is een initiatief van TNO, de Kamer van Koophandel en het RIVM, waarbij ze gezamenlijk informatie over de veiligheid van Nanotechnologies delen.
- **Holst Centre:** is een samenwerkingsverband tussen TNO en Imec in Eindhoven. Een van de specialismes van het Holst Centre is nanotechnologie, samen met andere sleuteltechnologieën, zoals Digital Technologies of Photonics and Light Technologies.
- **WUR:** waaronder de leerstoelgroep BioNanoTechnology. Onder andere deze groep binnen Wageningen Universiteit doet onderzoek naar bionanotoepassingen op fundamenteel

gebied maar ook met betrekking tot hun toepassingen voor voeding en gezondheid. Dit komt ook naar voren uit de kwantitatieve analyse van databases.

- **Overige universiteiten:** op het gebied van nanotechnologie moet er nog veel fundamenteel onderzoek gedaan worden. Dat kwam ter sprake tijdens de interviews, maar viel ook op in de kwantitatieve database analyse. Daarom zijn de overige academische instellingen ook relevante partijen.

Figuur 7 Relevante initiatieven en organisaties op het gebied van nanotechnologie in Nederland



Technopolis Group o.b.v. database-onderzoek

8.4 Kansen voor de opgaven van LNV

- **Nanomaterialen om stoffen te filteren.** Veel huidige en toekomstige uitdagingen op het gebied van de KIA-LVW hebben te maken met vervuilende of onzuivere stoffen. Nanostructuren die deze stoffen effectief en zonder onverwachte neveneffecten kunnen scheiden, isoleren en purificeren kunnen een cruciale rol spelen in een transitie naar een klimaatneutraal, gezond, klimaatbestendig en schoon Nederland met een veilig voedselsysteem. De technologie is nog ver van toepassing in de operationele omgeving, maar is in potentie zeer belangrijk.
- **Volwassen nanotechnologie toepassen in LNV-context.** Een aantal technologieën zijn al volwassen en zijn op de markt uitgebracht, echter nog niet in de context van de KIA-LVW (denk aan CRISPR-CAS en Quantum Dots). Mogelijk is de vertaling naar dieren/gewassen/natuurlijke fenomenen hierdoor 'relatief' gemakkelijker ten opzichte van andere toepassingen voor nanotechnologie.
- **Nieuw sensoren om beter te kunnen monitoren.** Het monitoren van allerlei parameters in de landbouw, levensmiddelenindustrie en natuur met behulp van nanosensoren of sensoren gebruik maken van nanostructuren is een kans voor de KIA LVW. Er is een grote behoefte aan sensoren om beter en meer te kunnen meten. Belangrijk is wel dat deze nanosensoren en -structuren biodegradable moeten zijn, met name als ze op grote schaal in de natuur toegepast gaan worden.

8.5 Bedreigingen voor de opgaven van LNV

- **Gebrek aan acceptatie door consument.** Het ontbreken van maatschappelijke acceptatie van het gebruik van nanomaterialen in de voedselvoorziening kan leiden tot geen of beperkte adoptie van nanotechnologie. De perceptie en acceptatie door de consument zal een belangrijke rol spelen in de snelheid en mate waarin het toegepast kan worden. Hiervoor is het belangrijk dat er transparantie is over de risico's en dat principes van Safe-by-Design worden toegepast in onderzoek naar deze toepassingen.
- **Toxisch effect van nanomaterialen op mensen.** Onderzoek naar hoe het menselijk (of dierlijk) lichaam omgaat met koolstofnanobuisjes, grafeen of quantum dots geeft aan dat dergelijke nanomaterialen schadelijk kunnen zijn voor de gezondheid.^{312,313,314} Het RIVM geeft ook aan dat er nog onduidelijkheid bestaat over hoe en of koolstofnanobuisjes ervoor zorgen dat mensen ziek worden.³¹⁵ Dit zal onderzocht moeten worden en mocht blijken dat dit het geval is, moeten toepassing ervan en alternatieven overwogen worden.
- **Milieuvervuiling.** De omstandigheden waarmee nanostructuren of -materialen te maken hebben in de operationele omgeving kunnen extreem zijn. Dit zou ertoe kunnen leiden dat de nanocomposities of -structuren afbreken, de specifieke werking van de nanotoepassing niet meer kan plaatsvinden en dat nanodeeltjes in de natuur onbedoelde abiotische en biotische effecten met zich meebrengt.^{316,317} Bij de ontwikkeling van nanomaterialen moet deze mogelijke milieuvervuiling in acht genomen worden. Tegelijkertijd is dit ook een kans, er kunnen namelijk natuurvriendelijke nanomaterialen ontwikkeld worden. Voorbeelden van materialen die beter zijn dan huidige alternatieven zijn nanocoatings die niet roesten of biofouling tegengaan.³¹⁸ Een belangrijk onderscheid is dat nanomaterialen in afgesloten systemen (bv. sensoren) heel goed kunnen werken, maar dat de bedreiging ligt wanneer er grootschalige toepassingen en verspreidingen zijn in de natuur. Ook hiervoor is safe-by-design onderzoek essentieel.
- **Fundamenteel nog veel vragen.** Met name op het gebied van nanomaterialen moet er nog veel fundamenteel onderzoek gedaan worden. Er is nog veel onbekend. De balans vinden tussen de toepassingen en fundamenteel onderzoek is voor de KIA LWV belangrijk.

8.6 Reflectie

De sleuteltechnologie Nanotechnologie heeft in potentie veel toepassingen binnen de KIA LWV. Nanotechnologie kan met name een rol spelen bij het ontwikkelen van nieuwe sensoren en materialen en structuren voor in scheidings-/zuiveringstechnologie, precisiebemesting en duurzame toepassingen. Veel nanotechnologie dat gericht is op de missies van LNV bevindt zich nog in relatief lage TRL-niveaus en moet dus nog verder onderzocht of ontwikkeld worden. Daarin speelt safe-by-design ook een belangrijke rol, vanwege mogelijke risico's verbonden aan nanomaterialen.

³¹² <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsnano.8b04758>

³¹³ <https://www.rivm.nl/nanotechnologie/gezondheid/nieuw-inzicht-in-gezondheidseffecten-voor-koolstofnanobuisjes>

³¹⁵ <https://www.rivm.nl/nanotechnologie/gezondheid/schade-door-koolstofnanobuisjes-nieuw-stukje-van-puzzel>

³¹⁶ Corsi, I., Bellingeri, A., Eliso, M. C., Grassi, G., Liberatori, G., Murano, C., Sturba, L., Vannuccini, M. L., & Bergami, E. (2021). Eco-Interactions of Engineered Nanomaterials in the Marine Environment: Towards an Eco-Design Framework. *Nanomaterials*, 11(8), 1903. <https://doi.org/10.3390/nano11081903>

³¹⁷ Garner, K. L., Suh, S., & Keller, A. A. (2017). Assessing the risk of engineered nanomaterials in the environment: development and application of the nanoFate model. *Environmental Science & Technology*, 51(10), 5541-5551.

³¹⁸ <https://www.ship-technology.com/features/nanotechnology-shipping/>

Nanotechnologie is sterk verweven met andere sleuteltechnologieën, omdat het zich richt op technologie met een bepaalde afmeting. Voor o.a. gewasverbetering en biotechnologie is er een overlap met Life Science Technologies. Op het gebied van materialen is er een sterke overlap met Advanced Materials en Chemische Technologieën. Ook is er overlap met Photonics and Light Technologies op het gebied van materialen en sensoren.

Missie A, B en D hebben in potentie het meeste baat bij Nanotechnologies. Denk daarbij aan toepassingen als precisiebemesting en -bestrijding, de ontwikkeling van nieuwe robuuste gewassen, sensoren voor monitoring en het scheiden van stoffen.

9 Fiche Quantum Technologies

9.1 Beschrijving

Bij Quantum Technologies (QT) worden principes uit de kwantummechanica toegepast om een heel spectrum van nieuwe eigenschappen aan producten en diensten toe te voegen. Zo kunnen kwantumcomputers veel sneller problemen oplossen dan 'klassieke' computers, maakt kwantumcommunicatie het mogelijk om veilig te communiceren en kunnen kwantumsensoren zeer gevoelig veranderingen in omgevingsfactoren detecteren. Quantum Technologies bevinden zich nog vooral in de onderzoeksfase waardoor het nog maar beperkt gericht is op de missies van LNV. Er zijn nog maar enkele toepassingen, voornamelijk op het gebied van kwantumcomputers, -sensoren en simulaties, die voornamelijk door de wetenschap onderzocht worden of door start-ups op de markt worden gebracht. Vooral de potentie van Quantum Technologies lonkt.

De belangrijkste technologieën die onder de paraplu van QT's vallen volgens het raamwerk van de KIA Sleuteltechnologieën, zijn:

- **Kwantumcomputer:** maakt gebruik van qubits (quantum bits) in tegenstelling tot een "klassieke" computer die gebruik van bits. Deze qubits worden gebruikt om mee te rekenen. Daar waar een bit de waarde 0 of 1 kan hebben, kunnen qubits ook 0 én 1 tegelijk zijn (een kwantummechanische eigenschap). "Klassieke" software kan niet gebruikt worden op kwantumcomputers. Kwantumsoftware maakt gebruik van algoritmes die op een heel andere manier in elkaar zitten. Doordat zowel de hardware als de software anders is dan bij "klassieke" computers, kan een kwantumcomputer in potentie een exponentieel groot aantal berekeningen tegelijkertijd uitvoeren.³¹⁹ De enorme rekenkracht van kwantumcomputers maakt het mogelijk om grote hoeveelheden data te verwerken, complexe vraagstukken op te lossen of patronen te herkennen. Met name bij zeer complexe natuurlijke processen, zoals het begrijpen van de genetische code van planten, kan deze rekenkracht tot nieuwe inzichten leiden. Momenteel zijn de uitdagingen voor kwantumcomputers om de hardware stabiel te maken en het ontwikkelen van geschikte algoritmes die goed op de hardware werkt. Een belangrijk begrip waarnaar gestreefd wordt, is *quantum advantage*. Dit is het punt waarop aangetoond en gemeten is dat een kwantumcomputer een probleem sneller kan verwerken dan een klassieke computer. Op dit moment zijn veel klassieke computers vaak nog sneller in het verwerken van problemen.
- **Kwantumcommunicatie en -encryptie:** de rekenkracht van kwantumcomputers zorgt er in sommige gevallen voor dat de huidige encryptiestandaarden niet meer voldoende zullen zijn. Kwantum-versleutelingstechnieken kunnen dit wel garanderen. Het kwantumprincipe verstrengeling zorgt ervoor dat wanneer individuele fotonen met informatie verstuurd worden er direct gedetecteerd kan worden wanneer de fotonen onderschept worden.
- **Kwantumsensoren en -metrologie:** kunnen worden gebruikt om veranderingen in de omgeving te detecteren. Hiervoor worden diverse eigenschappen uit de kwantummechanica gebruikt. Zo zijn sensoren die gebaseerd zijn op de superpositietoestanden van individuele elektronen erg gevoelig voor hun omgeving.³²⁰ Veranderingen kunnen daardoor zeer nauwkeurig worden gedetecteerd. Zo kunnen

³¹⁹ Quantum Flagship (2022). Discover Quantum Technologies. <https://qt.eu/discover-quantum/>.

³²⁰ Quantum Delta Nederland. (2019). Nationale Agenda Quantum Technologie

kwantumsensoren fotosynthetisch actieve straling (het licht dat planten gebruiken voor fotosynthese) of gassen detecteren.

9.2 Bijdrage aan opgaven van LNV

Kwantumtechnologieën hebben als sleuteltechnologie potentie om bij te dragen aan de beleidsdoelen van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Zo kunnen quantumcomputers moleculaire simulaties beter uitvoeren dan conventionele computers. Het gros van de toepassingen kan pas in de praktijk worden toegepast over een aantal jaren. Er is hier nog veel onzekerheid in. Kwantumcomputers en vooral kwantumsensoren hebben een relatief brede toepassing binnen de Kennis- en Innovatie Agenda Landbouw, Water & Voedsel. Kwantumcommunicatie en -encryptie hebben daarentegen minder toepassingen. Tabel 31 geeft een overzicht van de mate waarin deze sleuteltechnologie kan bijdragen aan de opgaven van LNV. In de volgende paragrafen gaan we nader in op de bijdrage van deze sleuteltechnologie aan deze opgaven.

Tabel 51 Mate waarin de sleuteltechnologie een bijdrage kan leveren aan opgaven van LNV

Opgave LNV	← kleine bijdrage grote bijdrage →				
Kringlooplandbouw					
Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie					
Klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied					
Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel					
Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren)					
Overige missies van LNV					

Beoordeling Technopolis Group

9.2.1 Missie A: Kringlooplandbouw

Missie A is erop gericht om de Nederlandse land- en tuinbouwsector zo circulair mogelijk te maken in 2030. Zowel de enorme rekenkracht van quantumcomputers als de extreme nauwkeurigheid van kwantumsensoren kunnen, zodra het onderzoek naar de technologieën verder ontwikkeld is, binnen Missie A veel toepassingen hebben. Voor de sub-technologie *kwantumcommunicatie en -encryptie* zijn er echter geen toepassingen gevonden. Onder Tabel 52 zijn enkele voorbeelden van toepassingen beschreven.

Tabel 52 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Kwantum-computers	Kwantumcommunicatie en -encryptie	Kwantumsensoren en metrologie
A1	Verminderen fossiele nutriënten en emissies naar bodem, water en lucht			
A2	Ontwikkeling van robuuste teeltsystemen op een gezonde bodem en substraat op basis van agro-ecologische principes			
A3	Optimalisering van het hergebruik van zij- en reststromen			

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Kwantum-computers	Kwantumcommunicatie en encryptie	Kwantumsensoren en metologie
A4	Ontwikkeling van nieuwe plantaardige eiwitbronnen binnen Europa voor voedsel en diervoeders			
A5	Inzicht in hoe biodiversiteit kan worden hersteld en benut in de kringlooplandbouw			

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

- **Kwantumcomputers voor het simuleren van moleculaire structuren (TRL: laag).** Het simuleren van de moleculaire structuren kan door de grote hoeveelheid mogelijke combinaties gezien worden als een optimalisatieprobleem. Voorbeelden van het nabootsen van moleculaire structuren relevant voor de KIA-LWV zijn de ontwikkeling van structuren zoals metal-organic frameworks of solventen die koolstof kunnen afvangen (e.g. Point-source capture of Direct-air capture) (MMIP A1, MMIP A2).^{321,322,323,324,325} Efficiënte moleculaire simulatie is afhankelijk van zowel de ontwikkeling van kwantumcomputers als algoritmes die deze complexe problemen kunnen oplossen. Naar beide wordt volop onderzoek gedaan, maar beide zijn nog niet klaar om in relevante omgevingen te testen.
- **Quantum gravity gradient sensoren³²⁶ (TRL: middel)** kunnen gebruikt worden bij het in kaart brengen van aquifers³²⁷ en het meten van de bodemdichtheid. Deze kwantumsensoren kunnen bepalen of een bodem droog of verzadigd is, waarop vervolgens gehandeld kan worden. De juiste bodemvochtigheid kan de bodemkwaliteit en -weerbaarheid verhogen (MMIP A2, MMIP A5). Deze sensoren zijn recentelijk voor het eerst buiten het laboratorium getest³²⁸.
- **Kwantumsensoren voor het meten van fotosynthetisch actieve straling (TRL: hoog):** deze kwantumsensoren meten het licht (spectrum) dat planten gebruiken voor fotosynthese en geven daarmee cruciale informatie over de productiviteit van vegetatie (MMIP A2).

³²¹ Jie Liu, Lingyun Wan, Zhenyu Li, and Jinlong Yang. Simulating Periodic Systems on a Quantum Computer Using Molecular Orbitals. *Journal of Chemical Theory and Computation* 2020 16 (11), 6904-6914 DOI: 10.1021/acs.jctc.0c00881

³²² Davide Castaldo, Soran Jahangiri, Alain Delgado, and Stefano Corni. Quantum Simulation of Molecules in Solution. *Journal of Chemical Theory and Computation* 2022 18 (12), 7457-7469. DOI: 10.1021/acs.jctc.2c00974

³²³ NExt ApplicationS of Quantum Computing, Horizon 2020-project, <https://www.neasqc.eu/use-case/co2-recapture/>

³²⁴ <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/quantum-computing-just-might-save-the-planet>

³²⁵ Greene-Diniz, Gabriel and Manrique, David Zsolt and Sennane, Wassil and Magnin, Yann and Shishenina, Elvira and Cordier, Philippe and Llewellyn, Philip and Krompiec, Michal and Rančić, Marko J. and Ramo, David Muñoz. 2022. Modelling Carbon Capture on Metal-Organic Frameworks with Quantum Computing, <https://arxiv.org/abs/2203.15546>

³²⁶ Stray, B., Lamb, A., Kaushik, A. et al. Quantum sensing for gravity cartography. *Nature* **602**, 590–594 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04315-3>

³²⁷ Aquifers zijn goed-doorlatende watervoerende bodemlagen die gebruikt worden om water te winnen.

³²⁸ UKRI. 2022. Quantum gravity detector provides mapping breakthrough. <https://www.ukri.org/news/quantum-gravity-detector-provides-mapping-breakthrough/>

Dergelijke kwantumsensoren worden al lange tijd gebruikt, maar zijn vaak nog niet accuraat.³²⁹ Hoewel het product reeds op de markt is, en wordt gebruikt om directe afvang en omzetting van CO₂ te meten, wordt er ook onderzoek gedaan naar het verbeteren van deze sensoren³²⁹.

9.2.2 Missie B: Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie

Missie B *Klimaatneutrale landbouw en voedselproductie* heeft in potentie baat bij kwantumtechnologieën op de lange termijn. De meeste potentiële toepassingen zijn nog niet zover ontwikkeld dat ze toegepast kunnen worden in een operationele omgeving. Toepassingen liggen vooral in het energiezuiniger maken van de landbouw of het kunnen meten van gassen. Voor MMIP B3, B4 en B5 zijn er geen toepassingen gevonden.

Tabel 53 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Kwantum-computers	Kwantumcommunicatie en encryptie	Kwantumsensor en metrologie
B1	Reductie van de uitstoot van methaan in de veehouderij			
B2	Vermindering van de uitstoot van lachgas bij de bemesting van landbouwbodems en bij de vollegrondsteelt			
B3	Vermindering van oxidatie in de veenweidegebieden			
B4	Verhoging vastlegging van koolstof in landbouwbodems, bij vollegrondsteelt, in bos en natuur			
B5	Vermindering van energieverbruik in glastuinbouw			
B6	Toename productie en gebruik van biomassa (biograndstoffen)			

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

- **Kwantumsimulaties van complexe biologische interacties (TRL: laag):** Zoals beschreven bij Missie A kunnen kwantumcomputers complexe moleculaire interacties goed simuleren. Dit kan een efficiënter proces zijn dan de dure en lange trial-and-error methode die normaal gesproken gebruikt wordt voor het vinden van juiste biologische structuren zijn.³³⁰ Een voorbeeld is het gebruik van dergelijke simulaties om stabiele enzymen te ontwikkelen voor de groene productie van ammoniak voor kunstmest³³¹. Door dit proces kan kunstmest goedkoper en energiezuiniger geproduceerd worden dan het Haber-Bosch proces dat nu gebruikt wordt (MMIP B2).³³² Voordat de nieuwe techniek op schaal toegepast kan worden,

³²⁹ Akitsu, T., Nasahara, K. N., Hirose, Y., Ijima, O., & Kume, A. (2017). Quantum sensors for accurate and stable long-term photosynthetically active radiation observations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 237-238, 171-183. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.01.011>

³³⁰ <https://www.universiteitleiden.nl/en/research-dossiers/the-quantum-computer/quantumchemie-en>

³³¹ Hoe stikstofixatie op natuurlijke wijze werkt wanneer planten stikstofgas rechtstreeks uit de lucht halen en stikstofase-enzymen de omzetting in ammoniak katalyseren. Deze techniek kan op kamertemperatuur en bij 1 bar druk gedaan kan worden.

³³² <https://qt.eu/discover-quantum/applications-of-qt/fertilizer-and-other-quantum-computer-chemistry/>

moeten de gebruikte enzymen echter stabiel worden.³³³ Dit voorbeeld wordt gezien als in potentie zeer relevant.^{334,335} De rekenkracht van kwantumcomputers kan hierin een grote rol gaan spelen. Een ander voorbeeld waar dit ook kan plaatsvinden, is een zogenaamd methaanvaccin dat methaan-targeting antilichamen produceert (MMIP B1).³³⁶ Dit is in het lab gevalideerd, maar in de operationele omgeving nog niet. Wederom zou de rekenkracht van kwantumcomputers hier efficiënt de precieze moleculaire structuur kunnen vinden.³³⁷

- **Quantum camera's voor het detecteren van gassen (TRL middel-hoog):** deze camera's kunnen met behulp van **kwantumsensoren** gassen detecteren. Zo heeft het Britse QLM Technology (spin-off van de University of Bristol) een kwantum-gestuurde camera voor gasbeeldvorming ontwikkeld die goed methaanlekken kan detecteren³³⁸. Het precies meten, monitoren en detecteren van gasemissies kan helpen bij het klimaatneutraal maken van de land- en tuinbouw (MMIP B1 en MMIP B2).
- **Kwantumsensoren en kwantumcommunicatie voor autonome landbouwvoertuigen en robots (TRL: laag):** Steeds vaker zullen autonome landbouwvoertuigen of robots ingezet worden in de landbouw. GPS-systemen en real-time kinematic positioning³³⁹ kunnen goed posities lokaliseren, maar ze zijn bijvoorbeeld kwetsbaar voor cyberaanvallen. Kwantumsensoren, zoals kwantum-versnellingsmeters en kwantumgyroscopen, kunnen de atoomklok (die gebruikt wordt in GPS-satellieten) vervangen. Met behulp van kwantumcommunicatie kan vervolgens veilig de locatie van het voertuig tot op 15 centimeter bepaald worden.³⁴⁰ Autonome landbouwvoertuigen of robots zouden hierdoor zeer efficiënt te werk kunnen gaan en het energieverbruik in de landbouw omlaag kunnen brengen (MMIPB5). Experts geven wel aan dat het maar de vraag is echter in hoeverre dit toegevoegde waarde zal hebben ten opzichte van conventionele positioneringssystemen.

9.2.3 Missie C: Klimaatbestendig landelijk (en stedelijk) gebied

Kwantumtechnologieën kunnen in enige mate bijdragen aan het toekomstbestendig inrichten van Nederland. Inzicht in waar water is, speelt hier een belangrijke rol in. Dit kan gemeten worden met kwantumsensoren. Ook de kwaliteitsverbetering van water door het ontwikkelen van goede filters of membranen ligt binnen het toepassingsgebied van kwantumcomputers. MMIP C2 heeft geen oplossingen vanuit de kwantumtechnologie. Verder kan kwantumcommunicatie en -encryptie geen rol spelen binnen deze Missie.

³³³ <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/quantum-computing-just-might-save-the-planet>

³³⁴ <https://www.quantum.amsterdam/part-3-the-search-for-a-killer-application-with-a-closer-look-at-artificial-fertilizer/>

³³⁵ <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1619152114>

³³⁶ <https://www.stuff.co.nz/business/farming/agribusiness/125779068/methane-vaccine-for-cows-could-be-game-changer-for-global-emissions>

³³⁷ <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/quantum-computing-just-might-save-the-planet>

³³⁸ <https://www.ukri.org/news/leak-detecting-quantum-camera-cuts-oil-and-gas-industry-emissions/>

³³⁹ Een manier waarbij differentiaalcorrecties gebruikt worden om de positienauwkeurigheid van GPS te verbeteren.

³⁴⁰ <https://www.tudelft.nl/en/about-tu-delft/strategy/vision-teams/quantum-internet/applications/quantum-enhanced-gps>

Tabel 54 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Kwantum-computers	Kwantumcommunicatie en encryptie	Kwantumsensor en metrologie
C1	Voorkomen van wateroverlast en watertekort in landelijk (en stedelijk) gebied			
C2	Ontwikkeling van klimaatbestendige land- en tuinbouwproductiesystemen			
C4	Verbeteren van de waterkwaliteit			

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

- **Quantum gravity gradient sensoren³⁴¹ (TRL: laag-midden):** zoals beschreven in Missie A kunnen deze kwantumsensoren aquifers en de bodemvochtigheid³⁴² goed in kaart brengen. Inzichten hierin kunnen helpen bij het begrijpen hoe we watergebruik (e.g. drinkwater, water voor de agricultuur of de industrie) kunnen optimaliseren en wat de effecten van watergebruik zijn op het klimaat (MMIP C1). Deze sensoren zijn recentelijk buiten het laboratorium gevalideerd³⁴³.
- **Simuleren en modelleren van biologische reacties en moleculaire structuren (TRL: laag):** Binnen deze missie kan dit worden toegepast op waterfiltratie en -membraan technologieën. Met de juiste structuren voor filtratie, kunnen verschillende waterstromen, zoals drinkwater, industrieel water en water voor agrarisch gebruik beter hergebruikt worden en leiden tot betere waterkwaliteit (MMIP C1 en C4).

9.2.4 Misse D: Gewaardeerd, gezond en veilig voedsel

Op de lange termijn kunnen Quantum Technologies goede toepassingen hebben binnen het Nederlandse voedselproductiesysteem. Vooral met het oog op het monitoren van de voedselkwaliteit en -veiligheid zijn er potentiële toepassingen te vinden. Toepassingen voor het stimuleren van gezond en duurzaam voedsel (D2) en binnen de primaire productie (MMIP D3) zijn er niet gevonden.

Tabel 55 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Kwantum-computers	Kwantumcommunicatie en encryptie	Kwantumsensor en metrologie
D2	Stimuleren van het produceren en consumeren van gezond en duurzaam voedsel			

³⁴¹ Stray, B., Lamb, A., Kaushik, A. et al. Quantum sensing for gravity cartography. *Nature* **602**, 590–594 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04315-3>

³⁴² Aquifers zijn goed-doorlatende watervoerende bodemlagen die gebruikt worden om water te winnen.

³⁴³ UKRI. 2022. Quantum gravity detector provides mapping breakthrough. <https://www.ukri.org/news/quantum-gravity-detector-provides-mapping-breakthrough/>

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Kwantum-computers	Kwantumcommunicatie en encryptie	Kwantumsensor en metrologie
D3	Ontwikkelen van veilige, duurzame productiesystemen zonder risico's voor de omgeving			
D4	Ontwikkelen van een substantieel duurzamer en veiliger voedselketen			

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

- **Terahertz kwantumsensoren voor controleren van voedsel (TRL: laag-middel):** deze sensoren kunnen gebruikt worden als *imaging devices* om de voedselveiligheid en -kwaliteit van eten in verpakkingen te controleren (MMIP D4).³⁴⁴ Een geïntegreerde terahertz sensor en imaging systeem kan door Rydberg-atomen³⁴⁵ moeilijk-te-detecteren THz-straling omzetten in optische fotonen. Deze fotonen kunnen vervolgens door camera's vastgelegd worden en gebruikt worden om de voedselveiligheid en -kwaliteit controleren. Dit proces in het laboratorium gevalideerd.

9.2.5 Missie E: Duurzame en veilige Noordzee en andere wateren

Missie E moet bekeken worden in de context van de steeds drukker wordende Noordzee en andere wateren, ruimtegebrek en klimaatverandering. Quantum Technologies kunnen hier echter niet aan bijdragen.

Tabel 56 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Kwantum-computer	Kwantumcommunicatie en encryptie	Kwantumsensor en metrologie
E1	Balans tussen economische activiteiten op zee, zoals de opwekking van hernieuwbare energie en de productie van voedsel en de ruimtelijke en ecologische draagkracht van de Noordzee			
E5	Ontwikkeling van een duurzame kust- en zeevisserij op de Noordzee			

Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

9.2.6 Overige missies van LNV

Voor de overige missies van LNV zijn er geen toepassingen van Quantum Technologies gevonden.

³⁴⁴ <https://www.macqsimal.eu/macqsimal/atomic-ghz-thz-sensor-imager/>

³⁴⁵ Rydbergatomen zijn atomen in hoog aangeslagen toestanden. Rydbergatomen worden ook veel voor quantum computers gebruikt.

Tabel 57 Bijdrage van specifieke sleuteltechnologieën aan opgaves van LNV

MMIP	Specifieke opgave LNV (doelen)	Kwantum-computer	Kwantum communicatie en encryptie	Kwantumsensor en metrologie
LVN2	Verhogen Brede Maatschappelijke Welvaart in het landelijk gebied			
LVN3	Doelen van de Vogel- en Habitatrichtlijn in Nederland zijn bereikt en de Nederlandse ecologische voetafdruk is gehalveerd			
LVN4	Gezelschapsdieren en dieren voor vermaak zijn fysiek en mentaal gezond			

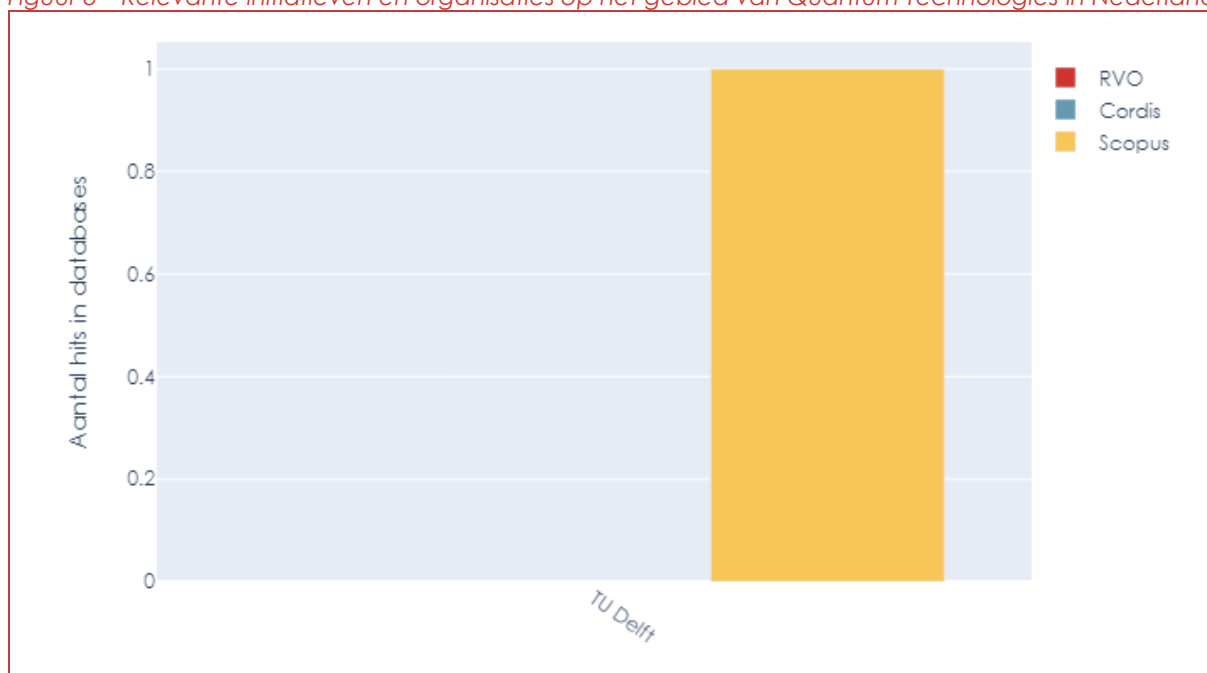
Beoordeling Technopolis Group o.b.v. deskstudie en interviews

9.3 Relevante initiatieven en organisaties in Nederland

In Nederland is de laatste jaren veel geïnvesteerd om een ecosysteem en sterkere positie op het gebied van Quantum Technologies te bereiken. Initiatieven en organisaties in dit ecosysteem richten zich vooral op kwantumonderzoek en het ontwikkelen van de eerste kwantumtoepassingen (veelal door start-ups/spin-offs). In Nederland zijn er zowel partijen die zich bezighouden met kwantumhardware als kwantumsoftware. Er zijn geen partijen die zich specifiek toegelegd hebben op kwantumtoepassingen in het domein van de KIA Landbouw, Voedsel en Water, wat voor een groot deel komt door de nog vroege fase waarin de ontwikkeling van Quantum Technologies zich bevinden. Dit komt ook naar voren uit de database analyse, waarbij alleen de TU Delft naar voren kwam uit de Scopus-database, welke publicaties van wetenschappelijk onderzoek bevat.

- **Quantum Delta NL:** is een samenwerkingsverband van verschillende Nederlandse universiteiten, bedrijven en maatschappelijk organisaties dat zich richt op de ontwikkeling van kwantumtechnologieën en het stimuleren van de Nederlandse kwantumindustrie. In 2021 is 615 miljoen euro uit het Nationaal Groeifonds aan Quantum Delta NL toegekend om Nederland te positioneren als een internationaal toonaangevend centrum en knooppunt voor kwantumtechnologie. Quantum Delta NL heeft vijf specialistische innovatie hubs in: Delft, Amsterdam, Leiden, Eindhoven en Twente. Elk van deze hubs heeft een eigen focus.
- **QuTech:** is een missiegedreven onderzoeksinstituut voor kwantum computing en kwantum internet, opgericht door TNO en TU Delft. QuTech richt zich met name op het ontwikkelen van schaalbare prototypes van een kwantumcomputer en een veilig kwantuminternet. QuTech is onderdeel van de Quantum Delta NL Delft-hub.
- **QuSoft:** is een onderzoekscentrum gericht op het ontwikkelen van kwantumsoftware en -algoritmen. QuSoft is een samenwerking tussen het Centrum Wiskunde & Informatica en de Universiteit van Amsterdam. QuSoft is onderdeel van de Quantum Delta NL Amsterdam-hub.
- **TNO:** is de Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek: een onafhankelijke onderzoeksinstelling die zich toespitst op toegepaste wetenschappen, waaronder kwantumtechnologieën.
- **Overige universiteiten dan TU Delft:** naast de universiteiten gelieerd aan de Quantum Delta NL-hubs, wordt er momenteel ook aan andere Nederlandse universiteiten kwantumonderzoek uitgevoerd.

Figuur 8 Relevante initiatieven en organisaties op het gebied van Quantum Technologies in Nederland



Technopolis Group o.b.v. database-onderzoek

9.4 Kansen voor de opgaven van LNV

- **Veel investeringen in kwantumtechnologie.** Er is momenteel enorm veel interesse in kwantumcomputing. Zowel studenten, bedrijven als de overheid is erg geïnteresseerd in de vele toepassingen die kwantum kan hebben. Deze interesse gaat gepaard met veel soorten onderzoek. Niet alleen met betrekking op de technologie, maar met het oog op de toepassing op de maatschappij.
- **Indirecte effecten van kwantumonderzoek kunnen relevant zijn voor LNV.** Ondanks dat kwantumcomputers niet geschikt zullen zijn voor veel problemen kan onderzoek in zowel de hardware als de software leiden tot andere denkwijzen. De zogenaamde *quantum-inspired algoritmes* zijn conventionele algoritmes die op klassieke computers werken maar geïnspireerd zijn door concepten uit de kwantumcomputing. Deze algoritmes zijn indirecte effecten van onderzoek in kwantumcomputing en vallen deels onder Digital Technologies, maar bieden een mogelijkheid om problemen efficiënter op te lossen dan klassieke algoritmes.
- **Nieuwe sensoren.** Kwantum (en terahertz) sensoren zijn erg gevoelig en kunnen niet-destructief meten. De sensoren kunnen ze nauwkeurig minieme omgevingsveranderingen waarnemen. Tegelijkertijd kunnen materialen en producten worden geïnspecteerd en geanalyseerd zonder beschadigingen toe te brengen aan de producten. Met name voor kwaliteitscontrole in de voedingsindustrie kan dit interessant zijn.

9.5 Bedreigingen voor de opgaven van LNV

- **Nog veel uitdagingen in de ontwikkeling.** Kwantumcomputers ondervinden nog problemen in het stabiel krijgen van de hardware. Door de ruis en onnauwkeurigheid die hiervan het gevolg is, hebben berekeningen momenteel nog een hoog foutpercentage. Vervolgens is de systeemintegratie tussen de hardware en de software een volgende uitdaging. Vooral wanneer de computers honderden of duizenden qubits hebben zal de

integratie van software en hardware ingewikkeld zijn. Keuzes op het ene vlak zullen invloed hebben op hoe andere componenten reageren (denk bijvoorbeeld aan materiaalkeuzes).

- **Lange ontwikkelduur kan interesse doen verslappen.** Kwantumtechnologie staat bekend als een technologiegroep met enorm veel potentie. De ontwikkeling ervan, vooral voor kwantumcomputers, zal echter nog lang op zich laten wachten. De bedreiging voor de technologie, maar ook voor de toepassingen relevant voor het ministerie van LNV is dat er van kwantumcomputers te veel verwacht wordt op de korte termijn. In de wetenschap is dit realisme er. Als de kwantumcomputers op de korte termijn de verwachtingen van private bedrijven en de overheid niet kunnen waarmaken, kan de interesse in de technologie verdwijnen, wat vervolgens weer negatieve effecten op de ontwikkeling van het vakgebied kan hebben.

9.6 Reflectie

Kwantumtechnologieën zijn nog niet erg relevant voor de KIA LWV. Er zijn diverse toepassingen van kwantumtechnologieën denkbaar en bekend voor de missies van LNV, maar het zal in de meeste gevallen nog jaren duren voordat deze daadwerkelijk toepasbaar zijn. Het TRL-niveau is voor de meeste toepassingen vrij laag en daarom maar beperkt passend bij het KIA-instrument. Er wordt wel veel vanuit andere middelen geïnvesteerd in kwantumtechnologie.

De gerichtheid van kwantumtechnologie op de missies en het domein van LNV is beperkt. Kwantsensoren hebben enkele relevante toepassingen en zijn wat betreft het TRL-niveau het dichtst bij toetreding tot de markt met enkele nuttige toepassingen. Voor kwantumcommunicatie en -encryptie zijn er relatief weinig toepassingen voor de KIA LWV. De kwantumcomputers daarentegen hebben veel potentie, maar is er nog veel onduidelijkheid over de technologie zelf én de toepassingen, juist doordat er nog zoveel onzekerheid is.

Bijlage A Overzicht van veelgebruikte afkortingen

Afkorting	Betekenis
AI	Artificial Intelligence (kunstmatige intelligentie)
AM	Advanced Materials
CORDIS	Community Research and Development Information Service
CT	Chemische Technologieën
DT	Digitale Technologieën
EFT	Engineering & Fabrication Technologies
EZK	Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
ICT	Informatie- en Communicatietechnologie
IenW	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
IoT	Internet of Things
KIA	Kennis en Innovatie Agenda
LNV	Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit
LST	Life Science Technologies
LWV	Landbouw, Water en Voedsel
MMIP	Meerjarig Missiegedreven Innovatie Programma
NGF	Nationaal Groeifonds
NT	Nanotechnologie
NWO	Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek
PLT	Photonics & Light Technologies
PV	Photovoltaics (toepassingen voor energieconversie uit licht, zonnecellen)
QT	Quantum Technologies
RVO	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
ST	Sleuteltechnologie
TRL	Technology Readiness Level
TU	Technische Universiteit
VWS	Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport
WUR	Wageningen University & Research



www.technopolis-group.com