



Actieagenda

Mechatronica en Optomechatronica

2026

Versie 1.0 | 26 januari 2026





Kennis- en Innovatie Agenda
Sleuteltechnologieën

Bezoekadres

Winthontlaan 2
3526 KV Utrecht
+31 (0)30 - 6001 328

Postadres

Postbus 3021
3502 GA Utrecht
The Netherlands

Actieagenda

Mechatronica en Optomechatronica

2025

Versie 1.0 | 5 december 2025



Inhoudsopgave

Samenvatting	6
1. Inleiding	7
2. Analyse: de kansen van mechatronica en optomechatronica	8
2.1. Kracht van het Nederlandse ecosysteem	8
2.2. Kansen en uitdagingen	9
2.3. Internationale positionering	10
2.4. Conclusie: kansen voor de toekomst	10
3. Onze ambitie	12
3.1. Ambitie uit de NTS	12
3.2. Economische en maatschappelijke opgave	12
3.3. Innovatieopgave	13
3.4. Kennis- en technologieopgave	13
3.5. Ecosysteemopgave	15
4. Programma	16
4.1. Programmastructuur	16
4.2. Bouwen op bestaande activiteiten	17
4.3. KPIs	18
5. Innovatieprogramma's	19
5.1. Chipmachines	19
5.2. Laser-satellietcommunicatie	23
5.3. Geavanceerde instrumentatie	27
5.4. Robotica	31
5.5. Flexibele en efficiënte machines voor voedselverwerking	36
5.6. Onbemenste systemen	40
5.7. Aardobservatie	45



6. Technologische verdieping in ST	51
6.1. Automatisering in het ontwerpproces	51
6.2. Toenemende complexiteit	52
6.3. Design-for-cost	53
6.4. Modulariteit en hergebruik van hardware en software	54
6.5. Automatisering & additive manufacturing in het productieproces	55
6.6. Fundamentele kennis van materialen, optica, dynamica en regelsystemen	56
6.7. Samenwerking tussen disciplines	57
7. Ecosysteemactiviteiten	58
8. Organisatie	60
8.1. Governance	60
8.2. Financieringsbehoefte	61



Samenvatting

Mechatronica brengt mechanische-, elektrische- en computersystemen bijeen tot gehele oplossingen. Met de term optomechatronica wordt benadrukt dat ook optica en geïntegreerde optica hieraan cruciaal bijdragen. Deze synergetische integratie vormt de basis van het systeemdenken in het optomechatronische domein, maar vindt ook daarbuiten brede toepassing. Mechatronica en optomechatronica (M&OM) hebben als vakgebied, maar zeker ook als manier van werken, in de afgelopen decennia aanzienlijk bijgedragen aan het verdienvermogen van de Nederlandse (hightech) industrie. Tegelijkertijd is deze positie niet vanzelfsprekend maar staat zij onder druk van internationale concurrentie, toenemende complexiteit en regeldruk.

De ambitie van deze actieagenda is daarom helder: een sterkere wereldwijd vooraanstaande positie binnen M&OM in 2035. Dit vraagt blijvende innovatie binnen M&OM om wereldwijd toonaangevend te blijven in hightech-apparatuur en automatisering, maar ook het verspreiden van de manier van werken naar nieuwe domeinen om ook daar doorbraken en leidende posities te bereiken. De baten van het realiseren van deze ambitie zijn helder: tot €3 miljard extra verdienvermogen, minimaal €190 miljoen aan private R&D-investeringen, 600 wetenschappelijke publicaties en 260 nieuwe patenten in 2035.

Om de genoemde ambitie te realiseren, stelt de actieagenda een aanpak voor met een combinatie van innovatieprogramma's en verdiepingsprogramma's. Deze zijn opgesteld met een brede vertegenwoordiging van het Nederlandse bedrijfsleven en kennisinstellingen, wat zichtbaar is in de meer dan vijftig steunverklaringen voor deze actieagenda. De innovatieprogramma's vormen een goede reflectie van zowel bestaande als nieuwe groeimarkten voor M&OM, zoals bijvoorbeeld chipmachines, laser-satellietcommunicatie en robotica. In het verdiepingsprogramma is ook aandacht voor de ontwikkeling van fundamentele en toegepaste kennis, bijvoorbeeld rondom design-for-cost, het adresseren van complexiteit en effectieve manieren van samenwerking. Ook de versterking van het al krachtige ecosysteem heeft de aandacht, en de opgave rondom technisch personeel, hoewel het adresseren van laatstgenoemde uitdaging buiten de scope van deze actieagenda valt.

Peter Wennink adresseerde al in zijn rapport dat onze welvaart niet vanzelfsprekend is en investeringen, onderling vertrouwen, bestuurlijke daadkracht en politieke keuzes vergt. Deze actieagenda vult in hoe deze keuzes er uit kunnen zien om binnen M&OM leidend te blijven. Het commitment van het bedrijfsleven en kennisinstellingen is er nu; de politiek is daarom nu aan zet om de juiste randvoorwaarden voor het welslagen van de actieagenda te bieden!

Aan de slag!

Ton Peijnenburg

Voorzitter werkgroep actieagenda mechatronica & optomechatronica

1. Inleiding

In de Nationale Technologiestrategie van Nederland is mechatronica & optomechatronica (M&OM) aangewezen als een van de belangrijkste sleuteltechnologieën. Mechatronica omvat de synergetische integratie van mechanische, elektrische en computersystemen, waarbij werktuigbouwkunde, elektrotechniek, elektronica, computertechniek en regeltechniek samenkomen. Dit veld combineert robotica, informatica, telecommunicatie, systemen, besturing, automatisering en productengineering. Met optomechatronica wordt benadrukt dat ook optica en geïntegreerde fotonica bijdragen aan deze disciplines. De synergetische integratie vormt de basis van systeemdenken in dit domein.

Het mechatronisch denken ontstond in Japan en werd door Philips in de jaren tachtig in Nederland geïntroduceerd voor de ontwikkeling van geavanceerde productieautomatisering. In de hightech-equipmentontwikkeling is mechatronisch denken inmiddels gemeengoed. ASML geldt momenteel als de grootste innovator op dit gebied, met apparatuur voor halfgeleiderproductie die ultrahoge nauwkeurigheid combineert met hoge productiviteit. Hoewel deze manier van denken en werken heeft geleid tot superieure resultaten, zijn er nog veel kansen voor toepassing in andere domeinen zoals robotica, agri-food, ruimtevaart, defensie en medische apparatuur. Synergetische samenwerking komt vooral goed tot zijn recht bij complexe producten in specifieke omgevingen, waarbij meerdere disciplines samenkomen. Dit blijkt bijvoorbeeld uit het verschil tussen een chirurgische robot en een scalpel, of een robot die met een laser onkruid verwijdert versus een traditionele tractor met ploeg. Juist nu, met de komst van dergelijke innovaties, is het belangrijk een sterke impuls te geven aan bredere toepassing van deze technologie en werkwijze.

De actieagenda richt zich op twee hoofdpunten:

- enerzijds het blijven innoveren binnen M&OM om wereldwijd toonaangevend te blijven in hightech apparatuur en automatisering (“remain competitive”);
- anderzijds het verspreiden van de mechatronische aanpak naar nieuwe domeinen om ook daar doorbraken en leidende posities te bereiken (“expand”).

Voorbeelden van verbreding zijn de innovatieve veeteeltoplossingen van Lely, en de optische communicatiesystemen van TNO en FSO voor veilige communicatie tussen satellieten, vliegtuigen en grondstations. Verdere en slimmere automatisering met M&OM versterkt het concurrentievermogen van de Nederlandse productie-industrie.

In deze actieagenda wordt het volgende beschreven:

- Wat het technologische ecosysteem is en hoe het bijdraagt aan de doorontwikkeling van de technologie en het versterken van specifieke sectoren.
- Welke nieuwe activiteiten nodig zijn voor research, development en innovatie, en op welke wijze die gerealiseerd kunnen worden.
- Welke overige factoren relevant zijn voor het realiseren van de doelstellingen.
- Welke middelen en instrumenten hiervoor ingezet kunnen worden.

2. Analyse: de kansen van mechatronica en optomechatronica

2.1. Kracht van het Nederlandse ecosysteem

De hightechindustrie¹ vormt de bedrijfsmatige kern van het M&OM ecosysteem in Nederland, met kernsectoren zoals de machine-industrie, de elektronica-industrie en de transportmiddelenindustrie. Industriële ontwikkelingen bij grote Original Equipment Manufacturers (OEMs) zoals Philips en meer recentelijk ASML – met haar monopolie op EUV-lithografie – hebben het ecosysteem sterk beïnvloed. Daarnaast leunt het ecosysteem op vele toeleveranciers. Instellingen zoals TNO, 4TU en de diverse hogescholen leveren een belangrijke bijdrage aan de kennispositie, versterkt door samenwerkingsverbanden als PhotonDelta, NXTGEN HIGHTECH en Holland High Tech. In algemene zin wordt de hightechindustrie gekenmerkt door een hoge mate van organisatie, open netwerken en samenwerking, zie ook het overzicht van ecosysteemorganisaties in hoofdstuk 7.

De Nederlandse hightechindustrie is een steeds belangrijker onderdeel van de totale economie. Hoewel het totale aandeel van de maakindustrie in de Nederlandse economie daalde, groeit de hightech sector juist bovengemiddeld in toegevoegde waarde en arbeidsproductiviteit.² Machines vormen structureel de belangrijkste exportcategorie met een waarde van ruim €155 miljard,³ en ook veruit het grootste deel van de patentaanvragen in Nederland is afkomstig uit de hightech sector.⁴ Ook kent M&OM duidelijke waarde in het aanpakken van maatschappelijke uitdagingen, zoals de energietransitie en structurele arbeidstekorten. M&OM maakt geautomatiseerde systemen mogelijk die taken efficiënter en deels zonder menselijke tussenkomst uitvoeren.

Regionale zwaartepunten van het Nederlandse M&OM ecosysteem zijn:

- Brainport regio (Eindhoven): Hier functioneert een sterk netwerk van toeleveranciers, met OEMs als ASML, VDL, NXP, Thermo Fisher Scientific, Canon Production Printing, Prodrive en Philips Healthcare. Ook is veel mkb actief in precisietechnologie, automatisering en optische modules. Kennisinstellingen als TU/e, TNO en Fontys leveren kennis. PhotonDelta versterkt regionale betrokkenheid bij geïntegreerde fotonica.
- Regio Nijmegen: Zwaartepunt ligt in semiconductor-industrie en chipintegratie. Er is een volledige keten van onderzoek, ontwikkeling en productie aanwezig; ASMPT, Besi, ASMI, NXP, Nexperia, NTS Optel, Ampleon zijn belangrijke OEMs.
- Twente: Veel maakbedrijven met sterke competenties in fijnmechanica, automatisering en microassemblage. Grote spelers zijn: Demcon, VDL, Thales. Topkennis via Universiteit Twente en MESA+. Bedrijven als Lionix en Phix actief in geïntegreerde optische systemen en advanced packaging. Saxion richt zich op robotica en optomechatronica.
- Zuid-Holland: TU Delft en TNO staan centraal. Daarnaast zijn er veel hightechbedrijven in

1 Hierbij sluiten we aan bij de definitie van PWC (2024). Made in NL The value of the Dutch high-tech manufacturing industry, die Eurostat: Glossary: High-tech classification of manufacturing industries als bron gebruikt. Zij includeren zowel hoogtechnologische als middle-hoogtechnologische industrieën.

2 Van Kappen, P. et al. (2024). Hightechindustrie 2040

3 CBS (2025). Internationale handel in goederen.

4 PWC (2024). Made in NL The value of the Dutch high-tech manufacturing industry

productietechnologie, zoals Nearfield Instruments, lucht- en ruimtevaart, en instellingen zoals NOVA en SRON.

- Noord: De regio heeft kennisinstellingen als RUG, Hanzehogeschool, NHL Stenden, SRON, ASTRON en NOVA. Hightechbedrijven in Innovatiecluster Drachten ontwikkelen (opto) mechatronische systemen voor diverse sectoren. RUG biedt relevant onderwijs, zoals Applied Optics en Optomechanics.

2.2. Kansen en uitdagingen

De kansen die M&OM biedt, uiten zich via twee sterk aan elkaar gekoppelde routes. Ten eerste vormt M&OM de kennisbasis om hoogwaardige producten en productiemachines te ontwikkelen, voor bestaande én nieuwe groeimarkten. Denk hierbij onder andere aan laser-satellietcommunicatie, flexibele en efficiënte machines voor voedselverwerking en onbemenste systemen. Het toenemend belang van de defensie- en dual-use industrie verdient hierbij expliciete vermelding. M&OM kan ook doorbraken in andere technologieën mogelijk maken, zoals in quantumtechnologie door optische uitlijning en cryogene integratie, en in fotonische chips door assemblage, advanced packaging en systeemintegratie. Ten tweede speelt M&OM een toenemende rol bij het productieproces zélf door dit efficiënter in te richten, waarmee tegen lagere kosten en met minder personeel nieuwe producten en innovaties gerealiseerd kunnen worden. Omdat verschillende industriële toepassingen mogelijk worden vanuit dezelfde M&OM-kennis en -technologie, heeft elke investering in de basis de potentie om zich langs meerdere toepassingspaden te verzilveren.

Er zijn wel stevige uitdagingen voor de hightechindustrie en verdere ontwikkeling van M&OM voor de kansen verzilverd kunnen worden. Voor veel bedrijven is het vinden van investeringskapitaal of toegang tot nieuwe markten niet vanzelfsprekend, onder meer vanwege het grote aantal toeleveranciers en het beperkte aantal grote OEMs.⁵ Er is sprake van toenemende, structurele krapte van technisch personeel,⁶ wat met name in specifieke voor M&OM belangrijke onderwerpen, zoals materiaalkunde en optiek, wordt gevoeld. Hoge productiekosten, toenemende regeldruk en geopolitieke ontwikkelingen geven extra onzekerheid. Doorlopende kennisontwikkeling om aan de toenemende eisen te voldoen en nieuwe toepassingen mogelijk te maken zijn belangrijk om de koploperpositie te behouden. Tegelijkertijd staat de koploperpositie onder druk vanwege stevige internationale concurrentie, met een dalende specialisatiegraad (zogenoeten Relative Activity Index) van Nederlands onderzoek en een verminderde relatieve patentpositie.⁷ Ook het gemis van een centraal instituut voor technologische innovatie zoals het Philips Natlab speelt hierbij een rol.⁸ Deze internationale concurrentie uit met name Azië en de VS in combinatie met het feit dat technologie steeds meer een commodity wordt voor het M&OM-ecosysteem.

5 OECD (2017), Entrepreneurship at a Glance 2017, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/entrepreneur_aag-2017-en.

6 Heyma, A., van Kesteren, J., Bakens, J., Gerards, R., Klinker, I., & Graus, E. (2022). Arbeidsmarkt krapte technici: Ontwikkelingen, verklaringen en handelingsperspectieven.

7 TNO (2025). Een blik onder de motorkap: sleutelen aan de technologiepositie van Nederland

8 Couwenbergh, P. & Van Dijk, B. (2025). Is een terugkeer naar bedrijfslaboratoria zoals Philip's Natlab nodig voor doorbraken?



2.3. Internationale positionering

Nederland staat internationaal bekend als ontwikkelaar en technologieleverancier van subsystemen en systeemarchitectuur in high-end equipment met een erkende, sterke, wijldvertakte positie in M&OM. Het ecosysteem vervult vaak een spilfunctie in internationale ketens, bijvoorbeeld bij ASML, Philips, Thermo Fisher Scientific en Zeiss.⁹ De samenwerking tussen OEMs, toeleveranciers en kennisinstellingen zorgt voor een uitzonderlijk innovatieklimaat. Brainport is internationaal erkend als innovatie hub voor hightech-systemen, met sterke competenties in nanometerprecisie en systeemintegratie.

Belangrijke internationale hotspots zijn:

- Duitsland, met Siemens, Bosch, Zeiss, Fraunhofer,
- Zwitserland met ETH Zürich, Fisba AG, Mikron Group,
- VS met robotica, semiconductor equipment, medische technologie,
- Japan en Zuid-Korea met precisietechniek, optica,
- China met strategische investeringen via 'Made in China 2025'.

Nederland werkt samen met Duitsland, België en Frankrijk in Europese R&D, maar concurreert ook met Duitsland, Japan en de VS.

2.4. Conclusie: kansen voor de toekomst

Bovenstaande analyse van het Nederlandse ecosysteem, groeimarkten, strategische uitdagingen en internationale positionering leidt tot de SWOT-analyse van het M&OM-ecosysteem in figuur 1. Concluderend ligt er in de Nederlandse hightechindustrie en het M&OM-ecosysteem een sterke basis om op door te bouwen, en nieuwe groeimarkten te adresseren. Tegelijkertijd zijn er ook voldoende uitdagingen, bijvoorbeeld ten aanzien van de betaalbaarheid en beschikbaarheid van personeel, in combinatie met internationale concurrentie die het hoofd geboden moeten worden.

9 List, F. et al. (2024). Holland High Tech Roadmap: Semiconductor Manufacturing Equipment.

Figuur 1. SWOT-analyse van M&OM ecosysteem.

Sterktes Intern (=NL) behulpzaam • Sterke industriële basis in semicon-ecosysteemrondom ASML (en NXP, BESI, ASMI etc). Monopolie EUV-litho • Sterke kennisbasis • Goede organisatie, open netwerken en samenwerking	Zwaktes Intern (=NL) schadelijk • Afhankelijkheid van een beperkt aantal OEMs • Onvoldoende technische aanwas, specifiek in bepaaldeopleidingen, bijv. materiaalkunde en optiek • Design for cost, manufacturability and sustainability • Hoge energiekosten • Hoge arbeidskosten i.c.m. beperkte automatisering • DeepTech investeringen moeilijk te realiseren • NL en EU regeldruk • Geen sterk centraal instituut voor blue sky research
Kans Extern behulpzaam • (Maatschappelijke) groeimarkten • Toenemend besef EU strategische autonomie en ditoinvesteringen (bijv. in dual-use en militaire goederen) • Quantumtechnologie, fotonische chips en andere opkomende technologieën: ML, AI, neuromorphic computing	Bedreiging Extern schadelijk • Geopolitiek: • Exportbeperkingen • Beschikbaarheid buitenlands talent • Beschikbaarheid materialen/subsystemen • Toenemende complexiteit van ontwerpen en systemen • Commoditisering van technologie

3. Onze ambitie

3.1. Ambitie uit de NTS

In 2035 heeft Nederland zijn internationale mechatronische & optomechatronische (M&OM) industriële en wetenschappelijke leiderschapspositie in het ontwerpen, integreren en produceren van complexe systemen verder versterkt. Zo levert deze sleuteltechnologie een bijdrage aan het verdienvermogen van maatschappelijke kansen en open strategische autonomie. Wij behouden een verdedigbare concurrentiepositie in onze huidige sterke internationale waardeketens. Ook verbreden we naar nieuwe applicaties in een select aantal nieuwe waardeketens, waar we goed kijken naar waar Nederland onderscheidend kan zijn. Zo versterken we ook Europa.

De ambitie uit deze actieagenda vertrekt vanuit de ambitie uit de NTS¹⁰ met als aanscherping dat een keuze om publiek-privaat te investeren in *nieuwe* waardeketens strategisch genomen moet worden binnen de EU-context. Naast het versterken van de positie in gevestigde waardeketens liggen er ook kansen voor nieuwe waardeketens die door een aantal concrete programmavoorstellen gegrepen kunnen worden. Hieronder wordt de ambitie verder uitgewerkt vanuit verschillende perspectieven en vertaald in bijbehorende opgaven voor de M&OM-actieagenda als geheel.

3.2. Economische en maatschappelijke opgave

Ambitie: *In 2035 is 15% van het Nederlandse BBP afkomstig uit (hoogwaardige) industriële productie. Innovaties in M&OM zorgen ervoor dat deze industriële productie competitief en concurrerend in Nederland kan blijven plaatsvinden. Van de industriële productie moet minimaal 30% van de omzet komen uit nieuwe waardeketens in apparatuur voor maatschappelijke uitdagingen. Hiermee behouden Nederland en Europa strategische autonomie in voor het oplossen van maatschappelijke uitdagingen.*

De Nederlandse regering heeft zich in 2022 tot doel gesteld om de industriële productie 10% tot 15% van het BBP te laten bedragen.¹¹ Momenteel is juist een dalende trend zichtbaar in het aandeel van de Nederlandse industrie als onderdeel van de totale economie. De actieagenda stelt voor om 15% als streefcijfer te nemen. Doordat M&OM helpt om het productieproces zelf efficiënter in te richten, zorgt de actieagenda dat industriële productie competitief en concurrerend in Nederland kan blijven plaatsvinden. Activiteiten zoals gedefinieerd in de diverse innovatieprogramma's uit hoofdstuk 5 en de verdiepingsprogramma's in 6.1, 6.3 en 6.5 (design-for-cost en automatisering van productie en design) uit dit programma dagen hieraan bij.

¹⁰ Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2024). De Nationale Technologiestrategie: Bouwstenen voor strategisch technologiebeleid.

¹¹ [Kamerbrief strategisch en groen industriebeleid | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl](#)

Daarnaast is het ontwikkelen van bestaande en nieuwe groeimarkten gekoppeld aan maatschappelijke uitdagingen nodig om de industriële basis dynamisch en actueel te houden¹². Deze actieagenda streeft naar 30% van de omzet uit dergelijke waardeketens, waarmee een bijdrage wordt geleverd aan de strategische autonomie. In de keuze voor innovatieprogramma's in hoofdstuk 5 is dit streven in acht genomen. In combinatie met innovaties in het productieproces kan zo de afhankelijkheid van andere werelddelen worden verminderd, bijvoorbeeld van Azië op het gebied van duurzame energie-technologie.¹³ Gerichte ketensamenwerking en -regie is hiervoor noodzakelijk.

3.3. Innovatieopgave

Ambitie: *Design-for-cost, design-for-manufacturability en design-for-sustainability zijn in 2035 integrale onderdelen van het ontwerpproces. Opkomende, nieuwe technologieën zoals machine learning en kunstmatige intelligentie, maar ook quantumtechnologie, additive manufacturing, nieuwe materialen en fotonische chips zijn in de M&OM toolbox geïntegreerd zodat toekomstige systeemoplossingen gevonden worden voor de alsmaar complexere eisen en randvoorwaarden. De adresseerbare complexiteit en de snelheid van innovatie worden verhoogd net als de efficiency van productieprocessen.*

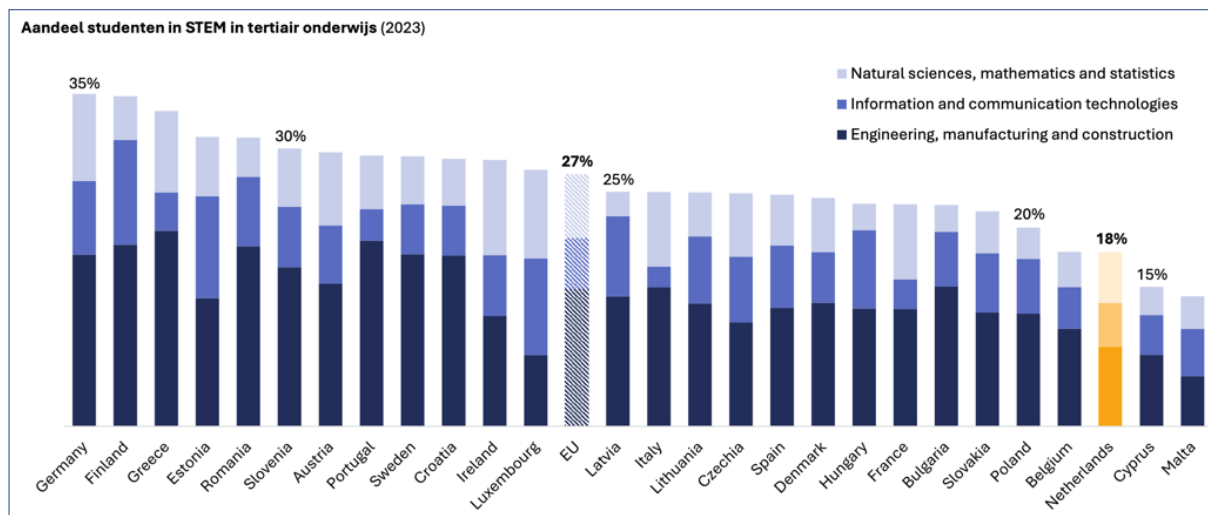
Een randvoorwaarde om aan de hierboven geschetste opgave te kunnen voldoen, is dat er een paradigmaverandering moet plaatsvinden in ontwerpprocessen binnen M&OM. Waar klassiek gezien het adagium 'design-for-performance' was, kan industriële ontwikkeling en productie alleen duurzaam in Nederland blijven plaatsvinden wanneer ontwikkel- en maakkosten, produceerbaarheid en duurzaamheid integraal worden meegenomen aan de voorkant van het ontwerpproces. Machinelearning-technieken en kunstmatige intelligentie kunnen hierbij helpen, maar (in de toekomst) ook quantumtechnologie, additive manufacturing, nieuwe materialen en fotonische chips. De toepassing van deze technieken vermindert de afhankelijkheid van bepaalde vaardigheden, maar zal ook leiden tot een vraag naar nieuwe vaardigheden. Belangrijker is de bijdrage aan het radicaal versimpelen van ontwerpen om op deze manier de toenemende complexiteit, die een bedreiging vormt voor verdere ontwikkelingen, tegen te gaan. Als laatste kunnen machine learning en kunstmatige intelligentie ook de innovatiesnelheid verhogen. In de diverse onderdelen van de verdiepingsprogramma's (bijvoorbeeld 6.1, 6.2 6.3, 6.5 en 6.6), en de toepassingsprogramma's is hier aandacht voor.

3.4. Kennis- en technologieopgave

Ambitie: *In 2035 kiezen 10% meer jongeren voor een technische opleiding (MBO, WO, HBO). Kennis die een randvoorwaarde is voor M&OM, bijvoorbeeld op het gebied van materiaalkunde, is beter verankerd door bijvoorbeeld toegespitste opleidingen en LLO.*

¹² Van Kappen, P. et al. (2024). Hightechindustrie 2040

¹³ [*European Commission \(2023\) - The global position of the EU in complex technologies*](#)



Figuur 2. Aantal studenten in STEM in tertiair onderwijs (2023).

De beschikbaarheid van voldoende technisch talent is een hardnekkige uitdaging. Op basis van de bevindingen van de Netherlands Academy of Engineering (zie figuur 2) blijkt dat Nederland momenteel laag scoort in het aantal leerlingen dat kiest voor bètatechnische (STEM-)vakken.¹⁴ De instroom in technische en ICT-studies op het HBO laat met -7,5% zelfs de grootste daling zien van alle sectoren. De daling hangt deels samen met het afnemend aantal havo- en vwo-leerlingen dat kiest voor een technisch profiel¹⁵. Voldoende technisch talent is een essentiële randvoorwaarde voor het versterken van de Nederlandse positie in M&OM. Een groei van 10% in de kennis- en technologiec capaciteit richting 2035 is ambitieus maar realistisch, mits de ambitie wordt benaderd als een geïntegreerde nationale opgave. De (internationale) vraag naar precisiesystemen, fotonica en optomechanische oplossingen groeit structureel harder dan 10%, terwijl de instroom in technische opleidingen onder druk staat en het tekort aan gespecialiseerd personeel verder oploopt. Er is zelfs een lichte daling in het aantal studenten dat een technische opleiding volgt.

De uitvoering van deze 10%-ambitie ligt niet primair binnen deze actieagenda. De agenda specificeert de talentbehoefte van het M&OM-ecosysteem en sluit aan bij bestaande Human Capital-programma's,¹⁶ sectorale onderwijsprogramma's¹⁷ en LLO-initiatieven¹⁸ waar de feitelijke uitvoering is belegd. De ambitie vereist gecoördineerde inzet over de hele onderwijskolom, van vroege techniekoriëntatie tot versterking van MBO-vakmanschap, HBO-praktijkgericht onderzoek en WO-expertise. Daarnaast zijn investeringen in faciliteiten, infrastructuur en publiek-private samenwerking essentieel om de 10% groei te realiseren.

¹⁴ [NAE - Boost-voor-Talent.-Samenvatting-Innovatieconferentie-2025.pdf](#)

¹⁵ [Vereniging Hogescholen Cijfers HBO instroom](#)

¹⁶ [Human Capital Agenda Holland High Tech](#)

¹⁷ [Human Capital TopSectoren Katapult](#)

¹⁸ [Nationale LLO Katalysator](#)



3.5. Ecosysteemopgave

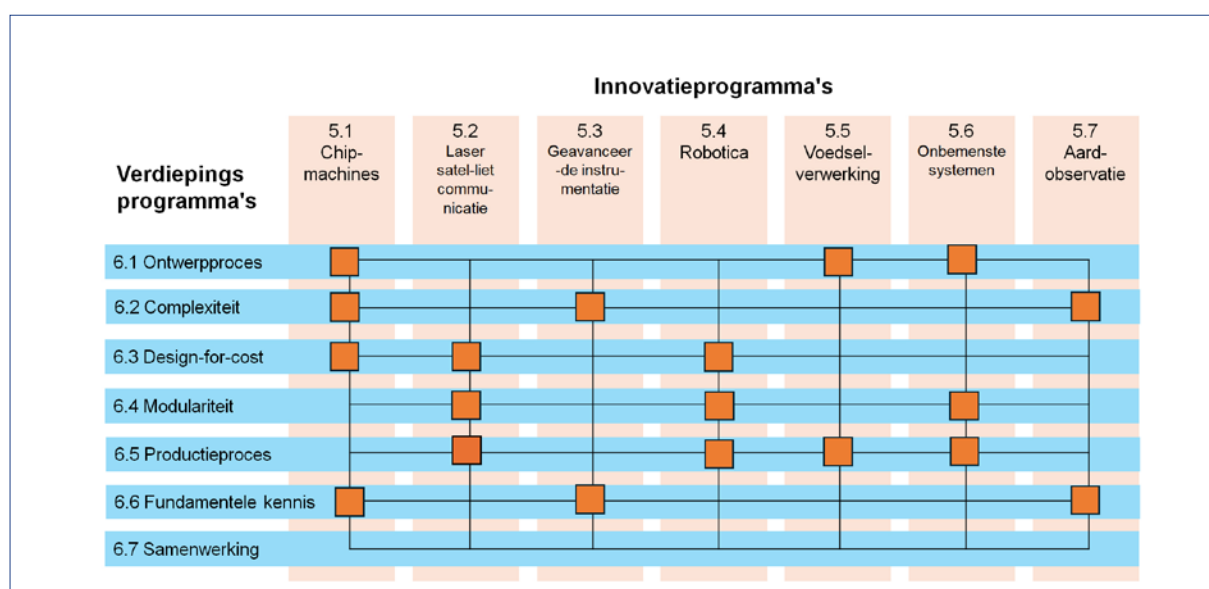
Ambitie: *In 2035 werkt het gehele ecosysteem goed samen. Daarvoor vindt kennisdeling en samenwerking plaats in alle fasen van het innovatieproces.*

De sterkte van het M&OM-ecosysteem is hierboven al genoemd. De uitgangspositie richting de toekomst is dus goed, maar moet worden versterkt en uitgebreid. Een belangrijke pijler onder het ecosysteem is samenwerking en kennisdeling. Dat is nodig om de deelexpertises binnen M&OM optimaal met elkaar te kunnen combineren in slimme systeemoplossingen. Daarnaast geldt dat vaak dezelfde M&OM-kennis kan worden aangewend voor verschillende toepassingen. Zolang er sprake is van pre-competitieve ontwikkeling is de bereidheid groot om gezamenlijk nieuwe kennis en technologie te ontwikkelen en te delen. Immers ieder kan er zijn eigen toepassingsdomein mee bedienen zonder elkaar te beconcurreren. Het zal lastiger worden om potentiële concurrenten samen aan nieuw machineconcept te laten ontwikkelen. De ecosysteemopgave ligt dus vooral in het zoeken naar gezamenlijke ontwikkeling van M&OM ten behoeve van kansen in verschillende toepassingsgebieden zonder dat toekomstige concurrentieknelpunten ontstaan. In diverse van de projecten van de innovatieprogramma's (hoofdstuk 5) en de verdiepingsprogramma's (hoofdstuk 6) is aandacht voor deze samenwerking en gezamenlijke ontwikkelingen. Ook het hoofdstuk met ecosysteemactiviteiten (hoofdstuk 7) stelt hier enkele activiteiten voor.

4. Programma

4.1. Programmastructuur

De voorgestelde programmastructuur (zie figuur 3) voor de Mechatronica & Optomechatronica (M&OM)-actieagenda bestaat uit een combinatie van samenhangende innovatieprogramma's (IP's) en verdiepingsprogramma's (VP's). De IP's hebben primair tot doel om de concurrentiepositie van de Nederlandse industrie in een groeimarkt te versterken door M&OM-projecten. De VP's hebben tot doel fundamentele en toepaste M&OM-kennis te ontwikkelen, ten behoeve van meerdere groeiemarkten.



Figuur 3. Programmastructuur M&OM actieagenda.

De IP's zijn geselecteerd door de werkgroep met input van de klankbordgroep.¹⁹ Hierbij is gekeken naar de specifieke toepassingsgebieden benoemd in de NTS, de geïdentificeerde Groeiemarkten voor Nederland²⁰ (met een mix van bestaande en nieuwe groeiemarkten) en de expert opinie van de werkgroep over die markten waar groei mogelijk is en die aansluiten bij Nederlandse kennis en kunde. Een ander selectiecriterium was de mate waarop M&OM een enabler van het desbetreffende IP is. De IP's zijn vervolgens uitgewerkt met partners in deep-dive sessies met brede vertegenwoordiging uit het betreffende veld, met expliciete aandacht voor benodigde ontwikkelstappen op het gebied van M&OM. De laatste input is weer leidend geweest voor de definitie van de VP's.

De oranje blokjes in bovenstaande figuur geven aan wanneer er een sterk raakvlak is tussen een IP en een VP, bijvoorbeeld doordat in het IP expliciete aandacht is voor het vraagstuk dat benoemd is in het VP (zie bijvoorbeeld werkpakketten 1 t/m 3 van IP 5.1 enerzijds, en VP's 6.1

¹⁹ Zie het overkoepelend document voor definitie van 'werkgroep' en 'klankbordgroep'

²⁰ [Groeiemarkten voor Nederland | Rapport | Rijksoverheid.nl](#)

t/m 6.3 anderszijds). Vanwege de brede toepasbaarheid van M&OM komen veel van de VP's in meerdere IP's terug. Het geeft ook aan dat investering in nieuwe M&OM VP-technologie zich meervoudig uit kan uitbetalen in verschillende toepassingsdomeinen. De blokjes geven de zwaartepunten aan qua raakvlakken, wanneer er op een snijpunt geen blokje is aangegeven wil dit niet zeggen dat er geen raakvlak is.

4.2. Bouwen op bestaande activiteiten

De kennisinstellingen en bedrijven, betrokken bij deze actieagenda, zijn onderdeel van diverse publiek-private samenwerkingsverbanden, innovatieprogramma's en coalities. Hieronder worden enkele van de grootste en belangrijkste programma's beschreven die raakvlakken hebben met de innovatieprogramma's die zijn voorgesteld in deze actieagenda.

Programma	Relatie met M&OM	Toelichting
NGF - NXTGEN HIGHTECH	Chipmachines, voedselverwerking, laser satellietcommunicatie, robotica	NXTGEN HIGHTECH versterkt het Nederlandse hightech ecosysteem en omvat M&OM-technologie in diverse toepassings- en verdiepingsprogramma's. De M&OM-agenda bouwt hierop voort, met aandacht voor laser-satellietcommunicatie, niches zoals voedselverwerking, en geavanceerde chipmachine-architecturen.
NGF - Einstein Telescoop	Geavanceerde instrumentatie	NGF-project 'Einstein Telescoop' bereidt de kandidatuur voor plaatsing van de Einstein Telescoop in Zuid-Limburg voor. Het IP Geavanceerde Instrumentatie ontwikkelt kennis die bijdraagt aan de Einstein Telescoop, maar ook breder toepasbaar is.
NGF - Quantum Delta NL	Geavanceerde instrumentatie	NGF-project 'Quantum Delta NL' zet in op de domeinen van quantumcomputers, quantumnetwerken en quantumsensoren. Het IP Geavanceerde Instrumentatie ontwikkelt kennis die bijdraagt aan de ontwikkeling van nieuwe functionaliteiten voor quantumtechnologie door optomechanische systemen.
KIA ST - HTSM, KIC digital twinning, KIC system design in M&OM	Chipmachines, laser satellietcommunicatie, geavanceerde instrumentatie, robotica	Binnen de KIA Sleuteltechnologieën, met name High Tech Systems & Materials, wordt al geruime tijd gewerkt aan het stimuleren van onderzoek en ontwikkeling op het gebied van M&OM. Op het gebied van systeemontwerp ten behoeve van mechatronische integratie heeft deze KIC een relevante scope die onderbouwend en aanvullend onderzoek kan leveren voor de uitvoering van de M&OM actieagenda.
Grote NWO calls	Diverse onderwerpen	NWO programmeert meerdere relevante calls. Mogelijkheden voor aansluiting op inhoudelijk gebied dienen vroegtijdig geïdentificeerd worden.

De actieagenda richt zich met name op het voortbouwen op de bestaande programma's en het inspelen op actuele ontwikkelingen die vragen om het verleggen van accenten binnen M&OM. Als voorbeeld hierbij kan worden gedacht aan de versnelling binnen autonome robotica die wordt aangejaagd door snelle ontwikkelingen in AI, of ontwikkelingen binnen laser-satellietcommunicatie en aardobservatie die worden aangejaagd door de internationale geopolitieke ontwikkelingen en conflicten.

4.3. KPIs

Geïnspireerd door NGF-programma's NXTGEN HIGHTECH en PhotonDeltaNL is een beperkte set KPI's met streefwaarden vastgesteld voor 2030 en 2035. Daarnaast is een aanvullende set indicatoren zonder vooraf bepaalde streefwaarde opgenomen. Deze laatste groep wordt gemonitord om trends en voortgang in kaart te brengen.

KPI	Streefwaarde 2030*	Streefwaarde 2035*
Extra verdien-vermogen	€1000m	€3000m
% BBP uit industriële productie	13%	15%
Private investeringen in R&D	€90m	€190m
Publicaties	200	600
Patenten aangevraagd	100	350
Patenten toegekend	75	260
Patenten actief na 10j	50	175
Patenten actief na 20j	10	35
Jongeren in technische opleiding**	23%	28%

* cumulatief tenzij expliciet anders vermeld

** deze indicator wordt gemonitord, maar ligt buiten de scope van de innovatiecoalitie om direct op te sturen

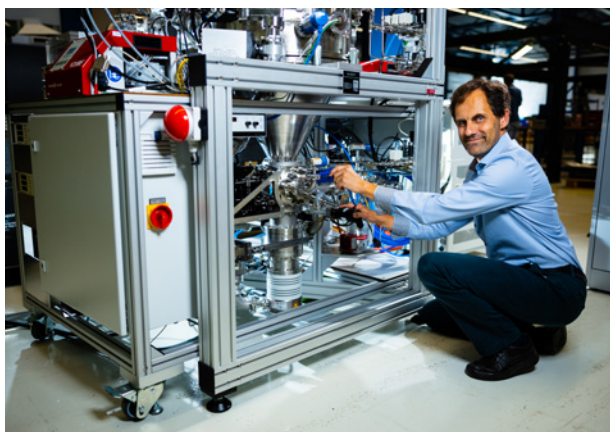
Te monitoren indicatoren:

- Strategische positie (relevantie van technologie op wereldniveau, control points).
- Het aantal technologische demonstrators.
- Nieuwe consortia en joint ventures.
- Nieuwe in NL geregistreerde bedrijven die direct herleidbaar zijn tot in de actieagenda gestarte activiteiten, dus bijvoorbeeld aan hierin ontwikkeld IP.
- De ontwikkeling van nieuw onderwijsaanbod en vergroting van studentenaantallen.
- Uitbreiding van bestaande en creatie van nieuwe innovatiefaciliteiten.

5. Innovatieprogramma's

5.1. Chipmachines

Algemene beschrijving



Nederland heeft een internationale koppositie in de chipmachine sector (zoals ASML, ASM, BESI, ITEC, Nearfield Instruments, Thermo Fisher Scientific). Deze positie staat echter onder druk. Backend-machines moeten goedkoper én nauwkeuriger zijn om te kunnen concurreren, terwijl bij frontend-machines prijs steeds belangrijker wordt. Bedrijven als ASML worden ouder en specialistische kennis loopt het risico te verdwijnen door personeelsverloop. Alleen incrementele innovatie is niet genoeg; zonder radicale vernieuwing en een multidisciplinaire

aanpak dreigt Nederland zijn koppositie te verliezen. Vernieuwen in de hele waardeketen vergt een lange adem: om in 2035 nog wereldleider te zijn, moet nú geïnvesteerd worden.

Dit programma is erop gericht om deze uitdagingen voor te zijn. In de verdiepingsprogramma's wordt kennis ontwikkeld die relevant is voor mechatronisch ontwerp van chipmachines. In dit innovatieprogramma worden OEM's gestimuleerd om nieuwe methoden toe te passen en gezamenlijk te leren. Dit vereist langetermijnfocus, omdat nieuwe methoden in het begin vaak minder effectief zijn. Daarnaast is er geen garantie op succes: de ontwikkelingen zijn risicovol. Subsidie kan de eerste ineffectiviteit dekken.

Zonder dit programma blijft de industrie gefocust op korte termijn, onder druk van aandeelhouders. Grote OEM's hebben weinig risico-appetijt voor revolutionaire aanpakken, wat leidt tot minder innovatie en kennisverlies. Hierdoor kan Nederland zijn strategische positie verliezen aan buitenlandse leveranciers. Nieuwe methoden kunnen bovendien ook toepassingen vinden in andere sectoren met complexe technologie.

Economische impact

Op basis van projecties van de equipment pijler van het ChipNL programma²¹, wat een vergelijkbare scope kent, is berekend dat de economische impact van dit innovatieprogramma €100 miljoen per jaar in 2035 kan bedragen (cumulatief €710 miljoen).

Aanpak

Om het aantrekkelijk te maken voor concurrerende chipmachine OEM's om in te stappen, worden parallelle 'ketenprojecten' opgezet. Elk van de vier werkpakketten kent minimaal één actieve OEM met een keten van leveranciers, partners en kennisinstellingen. OEM's committeren zich

²¹ ChipNL Innovation Program (2024).

aan het realiseren van een revolutionaire verbetering (minimaal factor twee) op de KPI van het werkpakket, bij gelijkblijvende prestaties. Ook wordt kennis uit de verdiepingsprogramma's centraal ingezet. In elk werkpakket zal één backend-machine of één module van een frontend-machine onder nieuwe specificaties ontworpen worden.

1. **Machine ontwerp met Design-for-cost**

Doel van dit werkpakket is om de resultaten van verdiepingsprogramma Design-for-cost toe te passen op één specifieke machine component. Mogelijke machines of componenten zijn: positioneringsstage (front-end) of pick-and-place (back-end). Door de verbeterde samenwerkingsmethode toe te passen, worden de kosten van de machine of component met minimaal 50% verminderd.

Het resultaat van dit werkpakket is enerzijds een tastbaar geleverde component of machine, binnen de kostendoelstelling; dit resultaat blijft eigendom van de deelnemende bedrijven tenzij (deels) gefinancierd met publieke middelen. Anderzijds is het resultaat een validatie van de methode ontwikkeld in verdiepingsprogramma Design-for-cost; dit resultaat kan breed gedeeld worden.

2. **Machine ontwerp met Design-for-energy**

Doel van dit werkpakket is het toepassen van fundamentele fysica- en materiaalmodellen in het ontwerpproces van chipmachines om het energieverbruik (in gebruik van de machine) te verminderen. Vergelijkbaar met werkpakket 1 wordt hier één prototype van een backend-machine, bijvoorbeeld voor wafer-to-wafer-bonding, of een machinemodule, bijvoorbeeld voor snelle positioneringsstage, geproduceerd. Dit prototype wordt getest om te valideren dat het energieverbruik op zijn minst 50% lager is het bestaande equivalent.

Het resultaat van dit werkpakket is enerzijds een tastbaar geleverde machinemodule of een gehele machine met de verwachte energiewinst. Dit resultaat blijft eigendom van de deelnemende bedrijven tenzij (deels) gefinancierd met publieke middelen. Anderzijds is het resultaat een deelbare methode voor energie-efficiënt ontwerp dat kan worden gepubliceerd.

3. **Machine ontwerp met Design-for-complexity**

In dit werkpakket worden de resultaten van werkpakketten 1 en 2 bijeengebracht en uitgebreid om als hele waardeketen de KPI's van chipmachines te optimaliseren. Hierin worden kosten (WP1) en energiegebruik (WP2) meegenomen, in combinatie met op zijn minst één extra component. Mogelijke additionele componenten zijn de balans tussen hardware en software voor waardecreatie of als productiebottleneck; of de logistieke processen van wafer-handling. Door deze dimensies collectief en integraal te optimaliseren worden zowel ontwerpdoorlooptijd als (eenmalige) ontwerpkosten verminderd. Het doel van dit werkpakket is om doorlooptijd en eenmalige ontwerpkosten met 50% te reduceren, met behoud van energie- en kostenbesparing zoals gerealiseerd in WP1 en WP2. Afhankelijk van de gekozen dimensie kunnen verdiepingsprogramma's 6.2 en 6.4 bijdragen aan dit werkpakket.

Het resultaat van dit werkpakket is enerzijds een tastbaar geleverde component of machine, met de verwachte besparing in ontwerptijd en -kosten; dit resultaat blijft eigendom van de deelnemende bedrijven tenzij (deels) gefinancierd met publieke middelen. Hier is ruimte voor in de begroting. Anderzijds is het resultaat een algemene methode voor collectief design-for-complexity dat breed kan worden gedeeld en gepubliceerd.

4. Machine ontwerp voor 3D-integratie

In de semiconductor-industrie zien we steeds meer ontwikkelingen die zelfs op wafer-niveau chips combineren, stapelen, en verbinden, én vervolgens processtappen toevoegen op die combinaties. Dit wordt aangeduid met 3D-integratie en wordt gedreven door de behoefte om de prestaties en capaciteit van semiconductor devices te blijven verbeteren.

Om dit op industriële schaal te kunnen uitvoeren is ontwikkeling van geschikte machines voor productie, metrologie en inspectie nodig. De ontwikkeling van chipmachines is voorheen succesvol geweest op basis van ver ontwikkelde M&OM-competenties en een degelijke systeembenadering en -werkwijze. De aard van de verschillende handelingen voor 3D-integratie is echter behoorlijk afwijkend ten opzichte van de voorheen leidende processtappen en leidt daarmee tot andere uitdagingen wat betreft nauwkeurigheid en snelheid.

Het resultaat van dit werkpakket is enerzijds een tastbaar geleverde machinemodule of gehele machine, met de verwachte geschiktheid en verbeteringen voor 3D-integratie productie en assemblage processen. Dit resultaat blijft eigendom van de deelnemende bedrijven tenzij (deels) gefinancierd met publieke middelen. Anderzijds wordt een nieuwe kennisbasis, specifiek met betrekking tot de uitdagingen van 3D-integratie, opgeleverd met aanverwante ontwerpprincipes die tussen bedrijven kan worden gedeeld.

Gantt chart

Werkpakket	Omvang (€ mln)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1. Machine ontwerp voor kosten	13,5										
2. Machine ontwerp voor energie	13,5										
3. Machine ontwerp voor complexiteit	13,5										
4. Machine ontwerp voor 3D integratie	13,5										

Verbinding met andere actieagenda's

Dit innovatieprogramma heeft een directe link met innovatieprogramma's 'advanced packaging' en 'chipmachines' van de actieagenda **Semiconductor Technologies**. Dit innovatieprogramma focust op de ontwerpfase van chipmachines; de innovatieprogramma's van de actieagenda Semiconductor Technologies focussen op de productiefase. De resultaten

van dit innovatieprogramma kunnen direct in de innovatieprogramma's van de actieagenda Semiconductor Technologies worden toegepast en opgeschaald.

Financiële breakdown

De totale omvang van de programmakosten bedraagt 54 MEUR. Hierbij is uitgegaan van een team van 8 FTE voor 6 jaar, met indicatieve kosten van €187,5k per FTE per jaar. Verwachte materiaalkosten, voor breder deelbare resultaten in het consortium, zijn 50% van personeelskosten (gebaseerd op vergelijkbare historische projecten). Werkpakket 1 is direct afhankelijk van de ontwikkelingen in verdiepingsprogramma Design-for-cost en kan pas opgestart worden zodra het verdiepingsprogramma uitkomsten begint te produceren.

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (€ mln)	Publiek (€ mln)	Privaat (€ mln)
1. Machine ontwerp (design-for-cost)	13,5	6,75	6,75
2. Machine ontwerp (design-for-energy)	13,5	6,75	6,75
3. Machine ontwerp (design-for-complexity)	13,5	6,75	6,75
4. Machineontwerp voor 3D integratie	13,5	6,75	6,75
Programma Totaal	54	27	27

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd (welke type activiteiten/ middelen worden wanneer ingezet)

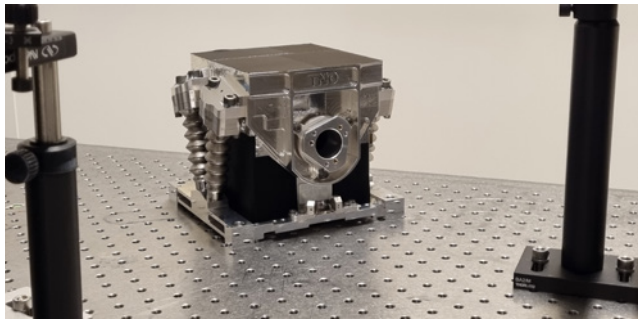
Type	Beoogde financiering (€ mln)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen	0,75	1,5	2,25	2,25	3	3	2,25	1,5	0,75	0,75	18
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen	1,5	3	4,5	4,5	6	6	4,5	3	1,5	1,5	36
Totaal	2,25	4,5	6,75	6,75	9	9	6,75	4,5	2,25	2,25	54

Betrokken partijen

ASML, ASMPT, Itec, Thermo Fischer Scientific, VDL ETG, Demcon, MI Partners, Nearfield Instruments, TNO, RuG, TUD, TU/e, UT, Saxion, Hogeschool Fontys

5.2. Laser-satellietcommunicatie

Algemene beschrijving



Dit innovatieprogramma heeft als doel een nieuwe generatie optische terminals voor satellietcommunicatie te ontwikkelen. Laser-satellietcommunicatie (LSC) wordt al gebruikt voor snelle dataverbindingen tussen satellieten binnen mesh-netwerken. Om de voordelen van LSC, zoals hogere veiligheid en bandbreedte, optimaal te benutten, moeten ook optische

verbindingen met de eindgebruiker worden gerealiseerd. Dit kan via stationaire of mobiele grondstations, bijvoorbeeld op schepen, vliegtuigen of voertuigen. Uitdagingen zijn het omgaan met atmosferische verstoringen en instabiliteit van gebruikersplatformen, zoals trillingen. Het programma richt zich op oplossingen om deze effecten te beperken en zo nieuwe terminals mogelijk te maken.

De drijfveren voor dit programma zijn:

- **Defensie:** De NAVO ziet de ruimte sinds 2019 als het vijfde operationele domein. Satellietcommunicatie is hierbij cruciaal, zoals blijkt uit recente gebeurtenissen rond Starlink en Oekraïne²² en de VIASAT hack²³. Het ministerie van Defensie investeert daarom in LSC, onder meer via het PAMI-1 project, en benoemt LSC in haar Defensie Strategie voor Industrie en Innovatie²⁴. Zo wordt de technologische positie en strategische autonomie versterkt.
- **Cybersecurity:** Bescherming van data wordt steeds belangrijker. Door de beperkte divergentie van laserstralen en het gebruik van kwantumsleutels, kan LSC afluisteren bemoeilijken.
- **Datasnelheid:** Door onder andere HD-videostreaming en clouddiensten verdrievoudigde het dataverkeer in 2022²⁵. De vraag naar meer bandbreedte en snellere toegang groeit, mede door toepassingen zoals autonome voertuigen. Ook niet-commerciële toepassingen (aardobservatie, astronomie) vragen steeds hogere resoluties, en dus een hogere bandbreedte.

Kennisvragen die geadresseerd worden, zijn:

- Welke nieuwe technologieën zijn nodig en welke architecturen zijn mogelijk om tot goedkopere, snellere en kleinere terminals te komen?
- Welke technologieën zijn nodig en welke architecturen zijn mogelijk om tot hoogvermogen terminals met een extreem hoge datasnelheid te komen, typisch nodig voor feeder links?
- Welke nieuwe technologieën zijn nodig en welke architecturen zijn mogelijk om tot een terminal te komen die actief relevante systeemparemeters optimaliseert voor wisselende omstandigheden?

²² [Musk ordered shutdown of Starlink satellite service as Ukraine retook territory from Russia | Reuters](#)

²³ [Case Study: Viasat Attack | CyberPeace Institute](#)

²⁴ Defensie Strategie voor Industrie & Innovatie 2025-2029

²⁵ Arthur D. Little. (2023). The evolution of data growth in Europe.

- Wat is de bijdrage van atmosferische verstoringen, vibraties en grove richtfouten ten aanzien van de gegenereerde data? Hoe propageren dergelijke fouten door het communicatiesysteem? Welke impact heeft dat op communicatieprestaties?
- Hoe kunnen geautomatiseerde ontwerp technieken worden toegepast ten behoeve van het ontwerp van nieuwe lasersatelliet terminals?

Economische impact

Gebaseerd op analyses van TNO en NXTGEN HIGHTECH kunnen Nederlandse partijen in 2035 een omzet van €250 miljoen per jaar behalen in LSC. Het effect van dit programma wordt gekwantificeerd op cumulatief €400 miljoen.

Aanpak

Het innovatieprogramma bestaat uit vier werkpakketten:

1. Multi-User ground facility

Deze faciliteit zal Nederland positioneren om één van de grootste knelpunten van veilige kwantumnetwerken aan te pakken, namelijk gebruikersbetrokkenheid en standaardisatie. Het wordt een meervoudige toepassing van een optisch grondstation (OGS) voor laser- en kwantumcommunicatie (EAGLE-1), Quantum Key Distribution (QKD) en Space Situational Awareness (SSA). De faciliteit zal ook de ontwikkeling van nieuwe communicatietechnologieën faciliteren en versnellen. Belangrijk is de nauwgezette orkestratie van dit hybride grondstation. Dit betekent naadloze integratie van een radiofrequentie en optisch grondstation met automatische omschakeling om ononderbroken connectiviteit mogelijk te maken.

Een eerste stap in dit project is het optimaliseren van de architectuur en het geschikt maken van de infrastructuur voor eerste proefprojecten. De volgende stappen zijn het opstarten van proefprojecten om de mogelijkheden aan eindgebruikers te demonstreren en de functionaliteit en toepassingsmogelijkheden uit te breiden door het te combineren met andere Nederlandse optische faciliteiten (MOSAIC). Hierbij zullen ook andere OGS'en een rol spelen, voor het geval onderdelen van het systeem eenvoudiger getest kunnen worden dan met de EAGLE-1 OGS. Tenslotte worden stappen ondernomen om de infrastructuur op te schalen om zo een operationele dienst te kunnen leveren. Vanaf dit punt zal het initiatief overgenomen worden door het bedrijfsleven.

2. Goedkope, compacte en lichtgewicht terminal

Het doel is om goedkope, compacte en lichtgewicht LSC-terminals te ontwikkelen die op daken of in een rugzak kunnen worden ingezet voor optische satellietverbindingen, vooral waar RF-verbindingen falen of onveilig zijn. Hiervoor is een nieuwe architectuur nodig met geïntegreerde fotonica, 3D-geprinte lichtere structuren en commerciële bewegingsplatforms. De focus ligt op een eenheidsprijs onder €5.000, robuuste prestaties tot LEO²⁶-satellieten (ca. 1200 km) en bij verschillende omstandigheden (bijv. elevatiehoeken vanaf 15-20 graden). Ook wordt een toolkit en ontwerpfilosofie ontwikkeld voor automatische architectuursynthese.

26 Low Earth Orbit (een lagergelegen baan om de aarde)

3. **High-Power Uplink**

Het doel is om optische communicatie met ultrahoge doorvoer over lange afstanden mogelijk te maken, zoals grond-naar-GEO²⁷-satellietverbindingen. Dit vereist een hoger zendvermogen (100W+) dan wat huidige commerciële optische versterkers kunnen leveren. Succes betekent het demonstreren van een schaalbare en robuuste oplossing die de output van meerdere optische bundels combineert om een hoog totaal zendvermogen te bereiken. Het project zal multi-beam combinerende architecturen verkennen en prototypen realiseren, inclusief coherente schema's en geavanceerde beamcontrol- en stabilisatietechnieken. Aan de kant van de ontvanger zal het diafragma- en glasvezelcombinatiemethoden onderzoeken om de signaalkwaliteit en veerkracht te verbeteren en kosten te besparen. Het werk omvat demonstratiemodellen op laboratoriumschaal en field tests om de prestaties onder realistische omstandigheden te valideren.

4. **Zelf-adaptieve terminals**

Om hun laserstraal zeer nauwkeurig te richten moeten LSC-terminals omgaan met de hoge dynamiek van de atmosferische turbulentie en in de toekomst trillingen van drone- of scheepsplatformen. Traditionele terminals zijn ontworpen voor het worstcasescenario, wat prestatieverlies en hogere kosten veroorzaakt. Dit onderzoek richt zich op zelf-adaptieve terminals die omstandigheden analyseren en hun instellingen aanpassen voor optimale prestaties. De focus ligt op het begrijpen van factoren die richtprestaties beïnvloeden en op het ontwikkelen van nauwkeurige besturingsalgoritmen en nieuwe M&OM-concepten om het aanpassingsvermogen tijdens de operatie te vergroten. Ook zal gekeken worden naar de mogelijkheden om multibeam-technieken in de architectuur te integreren.

5. **Laserprojectiesystemen (LPS)**

Laserprojectiesystemen (LPS) worden gebruikt om kunstmatige volgsternen in de atmosfeer te creëren, waarmee o.a. lichtsignalen verbeterd kunnen worden. Omdat huidige LPS-systemen vaak zwaar en duur zijn, is het doel van dit project om compacte en goedkope LPS-systemen te ontwikkelen. Een deel van het onderzoek richt zich op het beter begrijpen van het systeemontwerp van LPS en designkeuzes die gemaakt kunnen worden om een voldoende compact en goedkoop LPS-systeem te ontwerpen. Ook worden sodium-volgster en Rayleigh beacon-volgstertechnieken met elkaar vergeleken.

²⁷ Geostationary Earth Orbit, een aardbaan waarbij de omlooptijd gelijk is aan de rotatieperiode van de aarde, waardoor een object stil lijkt te staan ten opzichte van het aardoppervlak

Gantt chart

Werkpakket	Omvang (€ mln)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1. Multi-User ground facility	15										
2. Lichtgewicht terminal	20										
3. High-power Uplink	12										
4. Zelf-Adaptieve terminals	8										
5. Laserprojectie-systemen (LPS)	12										

Verbinding met andere actieagenda's

In de actieagenda Quantum Technologies wordt onder andere de uitdaging geschetst om quantuminformatie over langere afstand te delen, bijvoorbeeld ten behoeve van gedistribueerde quantumcomputers of het langetermijndoel van een quantuminternet. De ontwikkelingen in dit innovatieprogramma LSC leggen de basis voor quantuminformatie door de ruimte, wanneer binnen de scope van de actieagenda *Quantum Technologies* ontwikkelde producten en systemen (bijv. quantum modems of memories) hieraan toegevoegd worden.

Optical systems and integrated photonics. In het ontwerp van een LSC-terminal komen diverse disciplines samen. Geavanceerde optiek is noodzakelijk om de benodigde nauwkeurigheden voor optische communicatie te realiseren. Innovaties op het gebied van adaptieve optiek kunnen zorgen voor precorrectie waarbij de uitdagingen van atmosferische verstoringen en andere vormen van turbulentie deels ongedaan gemaakt worden.

Financiële breakdown

De totale omvang van de programmakosten bedraagt €67 miljoen.

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (€ mln)	Publiek (€ mln)	Privaat (€ mln)
1. Multi-User ground facility	15	9	6
2. Goedkope, compacte en lichtgewicht terminal	20	12	8
3. High-power Uplink	12	6	6
4. Zelf-adaptieve terminals	8	5	3
5. Laserprojectiesystemen (LPS)	12	8	4
Programma Totaal	67	40	27

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd (welke type activiteiten/ middelen worden wanneer ingezet)

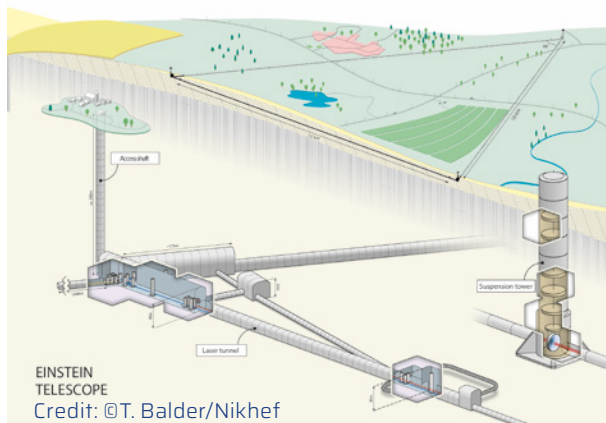
Type	Beoogde financiering (€ mln)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen		0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7				4
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen	1,5	1,5	1,5	1,5							6
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen	10	10	10	10	7	2	2	2	2	2	57
Totaal	11,5	12,1	12,1	12,2	7,7	2,7	2,7	2	2	2	67

Betrokken partijen

TNO, FSO Instruments, VDL, AirbusNL, Hyperion, TUDelft, NLR, Qubitrium

5.3. Geavanceerde instrumentatie

Algemene beschrijving



Het programma richt zich op het vernieuwen van de aanpak voor het ontwerpen, ontwikkelen, testen en valideren van geavanceerde instrumentatie, essentieel voor wetenschappelijke vooruitgang, hightech-systemen en het behoud van de Nederlandse toppositie als innovatieland op het gebied van mechatronica & optomechatronica (M&OM), automatisering en systeemintegratie. Nederland heeft sterke posities ingenomen met bedrijven als ThermoFisher, Nearfield Instruments, Semplor, SRON, ASTRON,

JPE, Demcon, MI-Partners, Cosine, TNO en VSL. Dit wordt mogelijk gemaakt door een sterke kennisketen, van de Leidse Instrumentmakers School tot de universiteiten.

De urgentie voor het programma komt voort uit technologische veranderingen en de stijgende vraag naar precisie, met name in de halfgeleiderindustrie door de groei van miniaturisatie en 3D-structuren. Dit vraagt om snelle, nauwkeurige kwaliteitscontrole en geavanceerde meetinstrumenten op basis van optische, röntgen-, infrarood- en AFM-technologie en elektronenmicroscopie, die zonder onderbreking kunnen werken. Ook groeit de behoefte aan nauwkeurige positionersystemen in complexe (cryogeen), schone (vacuüm) omgevingen.

Om de koppositie te behouden, zijn doorbraken nodig in M&OM-technologie en de manier waarop systeemontwikkeling wordt aangepakt. De toekomst van het Nederlandse hightech-ecosysteem

en de opleiding van studenten en PhDs vereist (betaalbare) hoogprecisie-instrumenten. Naast de halfgeleiderindustrie groeit de vraag naar inspectie- en kwalificatie-instrumentatie voor fotonica, waar chips met licht werken die nieuwe eisen stellen aan metrologie en koppeling van optische fibers en elektronische circuits. Ook moet de technologie die ontwikkeld wordt voor de Einstein telescoop, een impuls krijgen. De precisie waarmee de Einstein telescoop moet kunnen meten, is nog niet voorhanden.

Kennisvragen die geadresseerd worden, zijn:

- Trillingsisolatiesystemen met picometer-resolutie en -stabiliteit in het laagfrequente domein.
- Actieve thermische compensatiesystemen, inclusief contactloze meet-, actuatie- en controlesystemen, om quantumruis significant te reduceren.
- Extreme adaptieve optica die hoog-contrast beeldvorming mogelijk maken.
- Geavanceerde regeltechnische algoritmen om de ontwerpplimieten in de Einstein-telescoop te bereiken en te overstijgen.
- Bimodal-AFM en next-generation motion-stage controllers voor AFM.
- 3D (elektron) tomografie en optimalisatie van (elektronen)optiek.
-

Economische impact

Het programma levert direct kennis en componenten aan Nederlandse leveranciers, versterkt de concurrentiepositie van bedrijven in metrologie en halfgeleiderindustrie, en overbrugt de kloof tussen fundamenteel onderzoek en industriële schaalbaarheid. Zo kunnen in dit innovatieprogramma ontwikkelde trillingsisolatiesystemen hun toepassing vinden in andere domeinen zoals life science research, space (ground based instrumentation) en semicon-applicaties. Op basis van een impact assessment van de Einstein Telescoop,²⁸ is een vermenigvuldigingsfactor van 2 op de investeringen realistisch om te verwachten. Dit innovatieprogramma kan dus tot €60 miljoen toegevoegde waarde leiden in 2035.

Aanpak

Het innovatieprogramma bestaat uit twee werkpakketten, met in totaal zes tracks. Track 1a t/m 1d zijn in hoge mate gekoppeld aan het programma rondom de Einstein Telescoop.

Track 1a. Geavanceerde structuren en systeemontwerp voor trillingisolatie

Deze track richt zich op het ontwerpen van ultraprecieze trillingsisolatiesystemen voor onder meer de Einstein Telescoop, met picometer-resolutie en -stabiliteit in het laagfrequente domein. Metamaterialen bieden schaalbare ruisonderdrukking en beperkte thermische uitzetting. Flexibele mechanismen en AI-ondersteund (opto)mechanisch ontwerp zorgen voor verbeterde compactheid, maakbaarheid en ongevoeligheid voor verstoringen. Dankzij vooruitgang in ultraprecisie-meettechnologieën, zoals closed-loop sensor-actuatorsystemen, en geavanceerde regeltechniek kunnen geïntegreerde subsystemen zichzelf dynamisch corrigeren, wat stabiliteit en precisie vergroot zonder extra kosten of complexiteit.

28 Van Barneveld, J., Saes, L., Oomens, I., & van der Veen, G. (2018) Impact assessment of the Einstein Telescope.

Track 1b. In-situ thermische meet- en compensatietechnologie

Deze track richt zich op het ontwerpen en valideren van geavanceerde thermische meet- en compensatietechnologie. Hoge optische vermogens verbeteren de signaal-ruisverhouding door verminderde quantumruis, maar leiden tot meer absorptie en thermische vervorming, wat het optisch golffront verstoort. Actieve compensatiesystemen zijn nodig om deze vervormingen te corrigeren. Naarmate het laservermogen toeneemt, blijft dit onderwerp relevant. Er worden actieve thermische compensatiesystemen ontwikkeld, waaronder contactloze temperatuurmeting, actuatie en het bijbehorende regelsysteem. In-situ optische levensduurbewaking van cryogene ET-LF-spiegels is essentieel om downtime te beperken. Omdat deze spiegels naar verwachting monolaagvorming vertonen, is een optomechanische oplossing die het oppervlak scant en dit optisch compenseert, zeer gewenst.

Track 1c. Extreem adaptieve optica

Deze track richt zich op nieuwe adaptieve optica-technologieën, zoals vervormbare spiegels, voor onder andere toekomstige ruimtemissies gericht op het observeren van Earth-like exoplaneten. High contrast imaging (contrast tot 10^{-10}) vereist fundamentele doorbraken. Adaptieve optica corrigeert zowel atmosferische als systeem-geïnduceerde golffront-verstoringsen. Er wordt extreme adaptieve optica ontwikkeld met hoge-dichtheid deformable mirrors (DMs), die hoge-orde Zernike-polynomen corrigeren en zorgen voor actieve stabiliteit en precisie. Set-and-forget DM-technologie verbetert systeembetrouwbaarheid en vereenvoudigt fabricage. Ook is ontwikkeling van robuuste adaptive optica nodig voor gebruik in extreme omstandigheden zoals cryogenic, vacuüm, en high-energy toepassingen.

Track 1d. Geavanceerde regeltechniek

Zwaartekrachtgolfdetectoren zijn uiterst nauwkeurige meetinstrumenten met meerdere spiegels als testmassa's, waarbij ophangingen resonanties introduceren. De interferometrische metingen zijn niet-lineair, wat resulteert in meerdere vrijheidsgraden en sensoren die door elkaar beïnvloed worden. Seismische ruis maakt het noodzakelijk een robuust regelsysteem te implementeren, dat sensoren binnen hun lineaire bereik houdt en vervuiling van het signaal voorkomt. Bij lage frequenties worden de prestaties beperkt door ruis uit het controlesysteem, ondanks uitgebreide modellering. Geavanceerde, niet-lineaire regeltechnieken worden ontwikkeld en getest om deze ontwerplimieten te overwinnen.

Track 2a. Next-generatie Atomic Force Microscopy

Er is een grote behoefte naar in-line inspectiesystemen in de semicon-industrie. Deze track focust op het verhogen van snelheid en robuustheid van Atomic Force Microscopy (AFM) voor in-line monitoring van nanotechnologische processen met hoge doorvoer, cruciaal voor kwaliteitscontrole en procesoptimalisatie. Nieuwe (bimodale) AFM-technologie ondersteunt de veeleisende metrologie van complexe 3D-halfgeleiderstructuren. Datagedreven optimalisatie van motion-stage controllers maakt online adaptatie en kalibratie mogelijk, waardoor prestaties per machine geoptimaliseerd worden. Dit is strategisch voor Nederlandse bedrijven zoals Nearfield Instruments die AFM-gebaseerde metrologieapparatuur ontwikkelen.

Track 2b. 3D/4D (elektronen) tomografie

Deze track transformeert 3D (elektronen) tomografie van kwalitatieve beeldvorming naar een kwantitatieve metrologische tool, met focus op resolutie, signaal-ruisverhouding en minimale stralingsschade. Optimalisatie van elektronenoptiek en een mechatronische in-situ monsterhouder maken continue 3D-reconstructie mogelijk. Een geïntegreerde nationale inspanning van universiteiten en kennisinstellingen bundelt expertise in mechanisme-ontwerp, actuatie, regeltechniek, sensing en optische metrologie. Dit stimuleert doorbraken in precisie-engineering, adaptieve optica en interferometrische metrologie, versterkt de Nederlandse positie in wetenschap en hightech-industrie, en leidt tot betere prestaties en lagere kosten.

Gantt chart

Werkpakket	Omvang (€ mln)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1a. Trillingisolatie	8										
1b. Thermische meet- en compensatietechniek	4										
1c. Extreem adaptieve optica	8										
1d. Geavanceerde regeltechniek	4										
2a. Next-gen AFM	3										
2b. 3D (elektronen) tomografie	3										

Verbinding met andere actieagenda's

Dit innovatieprogramma heeft een directe link naar actieagenda's **Semiconductor Technologies**, **Imaging Technologies** en **Optical Systems & Integrated Photonics**. Deze actieagenda's bouwen vergelijkbare technologische componenten, maar in toepassingen waar de volumes hoger zijn dan voor geavanceerde instrumentatie. Ze bieden daarom een potentiële commercialisering route voor ontwikkelingen uit dit innovatieprogramma. Ook kunnen inzichten over effectieve en efficiënte productie uit de aanpalende actieagenda's in dit innovatieprogramma worden toegepast.

Financiële breakdown

Omvang programmakosten

De totale omvang van de programmakosten bedraagt €30 miljoen.

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
1a. Trillingisolatie	8	4,7	3,3
1b. Thermische meet- en compensatietechniek	4	2,7	1,3
1c. Extreem adaptieve optica	8	4,7	3,3
1d. Geavanceerde regeltechniek	4	2,7	1,3
2a. Next-gen AFM	3	1,9	1,1
2b. 3D (elektronen) tomografie	3	1,9	1,1
Programma Totaal	30	18,6	11,4

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd (welke type activiteiten/ middelen worden wanneer ingezet)

Type	Beoogde financiering (€ mln)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen	2	3	3	3							11
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen	1	1	1	2	4	3	3	4			19
Totaal	3	4	4	5	4	3	3	4			30

Betrokken partijen

ASML, Thermo Fisher Scientific, ASMPT, SRON, ASTRON, RuG, TU, TU/e, UT, Nikhef, cosine, Demcon, TNO, VDL-ETG, MI-Partners, Innovatiecluster Drachten

5.4. Robotica

Algemene beschrijving



Robotica omvat zowel de technologie in robots als de applicaties met robots. Adoptie van robotica in de Nederlandse industrie en publieke sector draagt bij aan het verhogen van arbeidsproductiviteit, behalen van duurzaamheidsdoelstellingen en versterken van concurrentievermogen. M&OM is een belangrijke sleuteltechnologie voor robotica. Waar kunstmatige intelligentie wordt gebruikt ten behoeve van de besluitvorming van een

robot, verloopt de interactie van robots met de omgeving via M&OM-technologie in de vorm van actuatoren, sensoren en regeltechniek. Om het Nederlandse robotica-ecosysteem te versterken, en toepassingen te ondersteunen, heeft dit innovatieprogramma de volgende doelstellingen:

1. Het realiseren van gevalideerde methodieken, softwaretools en testfaciliteiten voor co-creatie van robotica oplossingen (klantgestuurd ontwerp).
2. Een open en herconfigureerbaar platform voor modulaire robots en robotbouwblokken met sterke ontwerpprincipes ingebouwd, waarmee goede prestaties gerealiseerd kunnen worden zonder diepgaande (opto)mechatronische expertise.
3. Demonstratie van minimaal drie nieuwe robotoplossingen in verschillende, hoogwaardige en moeilijk-te-automatiseren toepassingsgebieden, bijvoorbeeld high-mix, low-volume-maakindustrie of agrifood.
4. Identificeren van potentiële Europese control points in de waardeketen voor hoogwaardige (semi-) humanoïde robots.

De urgentie voor robotica-investeringen wordt bepaald door vier structurele ontwikkelingen:

1. Personeelstekorten en vergrijzing: Arbeidskrapte blijft toenemen, vooral in de zorg, land- & tuinbouw, voedselverwerking, logistiek, productie en publieke dienstverlening. Robotica kan repetitieve taken overnemen, zodat mensen zich op complexer werk kunnen richten.
2. Concurrentiekracht en productiviteit: Automatisering is cruciaal voor het verhogen van productiviteit. Door te investeren in robotica blijft Nederland concurrerend, ondanks de hoge loonkosten.
3. Technologische afhankelijkheid: de VS en Azië domineren in robotica en AI, maar Nederland leidt wereldwijd op robotica in agrifood. Door slimme inzet en ontwikkeling kan Nederland zijn strategische positie behouden en versterken.
4. Wetgeving en maatschappelijke verantwoordelijkheid: Nieuwe wetgeving stimuleert technologie die werk minder belastend maakt. Robotica draagt bij aan veiligere, inclusieve werkplekken.

Economische impact

EU Robotics²⁹ en Europese machinebouwwer vereniging VDMA³⁰ zetten robotica neer als essentieel voor het concurrentievermogen van de Europese industrie: *“Robots are the only reason Europe can still mass-produce cars and appliances, and keep its advanced, Internet driven supply chain running.”* Morgan Stanley voorspelt een markt voor humanoïde robots die groeit tot 5 biljoen dollar in 2050.³¹ Geavanceerde robots zijn dus economisch relevant voor Nederland, zowel ter ondersteuning van productiviteit, als voor de marktvraag zelf.

29 <https://eu-robotics.net/wp-content/uploads/euRobotics-A-Unified-Vision-for-European-Robotics-Dec2024-web.pdf>

30 [Leveraging Robotics and Automation for a Resilient and Competitive Europe | VDMA](https://www.vdma.net/robotics/leveraging-robotics-and-automation-for-a-resilient-and-competitive-europe)

31 <https://www.morganstanley.com/insights/articles/humanoid-robot-market-5-trillion-by-2050>



Aanpak

Dit innovatieprogramma bestaat uit vier werkpakketen:

1. **Klantgestuurde co-creatie**

Het project richt zich op het beschikbaar stellen van een gevalideerde methode, softwaretoolset en testfaciliteiten om samenwerking tussen leveranciers, ontwikkelaars en eindgebruikers in robotica te stimuleren. Daartoe wordt een netwerk opgezet met multi-sector Customer & Developer Advisory Panels en een digitale gedeelde ontwerp- en testomgeving waarin eisen, use-cases en testdata toegankelijk zijn voor alle betrokkenen. Gedurende het proces vinden iteratieve co-designsessies en praktijkvalidaties plaats bij deelnemende bedrijven en instellingen, waarmee prototypes continu worden aangescherpt.

De resultaten van deze aanpak worden vastgelegd in een open 'Customer Integration Framework for Robotics', dat dient als leidraad voor best practices. Tot de verwachte uitkomsten behoren ten minste drie actieve adviespanels, een getoetste co-creatiemethodiek met ondersteunende software, en gedocumenteerde feedback die in de prototypes is verwerkt. Daarnaast worden testfaciliteiten ingericht bij kennisinstellingen en komen er scorekaarten voor adoptiegereedheid per project, zodat een openbaar raamwerk ontstaat voor klantgestuurde robotica-innovatie en robotica remote service level-innovatie.

2. **Modulaire robotplatforms voor flexibele productie**

Het beoogde resultaat van dit werkpakket is de realisatie van een open en herconfigureerbaar platform voor modulaire robots. Dit platform is opgebouwd uit gestandaardiseerde robotbouwblokken die zijn ontworpen met aandacht voor prestaties, veiligheid en interoperabiliteit. Binnen het project worden diverse activiteiten ondernomen, waaronder het ontwerp en de realisatie van modulaire hardware modules zoals (opto)mechatronische sensoren, actuatoren en grijpers. Verder worden universele mechanische en elektronische connectoren ontwikkeld, evenals plug-and-playbesturingsinterfaces die specifiek zijn toegesneden op het midden- en kleinbedrijf. Ook worden nieuwe gebruiksmodellen opgezet, bijv. multipurpose robotics, smart factory platforms, swarm robotics en Robotics-as-a-Service.

Deze aanpak wordt in de praktijk getest door middel van pilots in fabrieken met high-mix productie of in omgevingen met hoge complexiteit en korte cycle-times zoals selectieve oogst, waaronder het mkb. Daarnaast wordt een mechatronische systeembenadering ontwikkeld en gedemonstreerd, die gericht is op het verhogen van robotprestaties zoals nauwkeurigheid, krachtbeheersing en adaptiviteit binnen industriële toepassingen. De verwachte uitkomsten zijn drie gevalideerde prototypeplatforms die getest zijn in een industriële context, open-source interoperabiliteitsrichtlijnen specifiek voor het Nederlandse mkb en een trainingstoolkit die bedoeld is voor operators en integrators.

3. **Demonstratie van robots in moeilijk-te-automatiseren toepassingen**

Het streven is om minimaal drie nieuwe robotoplossingen met succes te demonstreren in drie concrete marktsectoren:

- de zorg (thuis of in ziekenhuizen),
- de maakindustrie met focus op hoogwaardige productieomgevingen met veel variatie en kleine series en
- De agrifood-oogst waar een grote heterogeniteit aan producten gepakt moeten worden.³²

Hiertoe worden controle- en regelsystemen ontwikkeld die het mogelijk maken om efficiënt te schakelen tussen verschillende activiteiten. Daarnaast wordt gewerkt aan bouwblokken voor het vinden en grijpen van zachte materialen, bijvoorbeeld voor zacht fruit, vlees, vis en champignons. Ook worden desktop robotics ontwikkeld ter ondersteuning van menselijke assemblage of verpakking. Een belangrijk (en vroeg) onderdeel vormt de identificatie en prioritering van casussen die lastig te automatiseren zijn, op basis waarvan scope van de demonstrators wordt vastgesteld.

Op basis van het modulaire platform en de uitkomsten uit het tweede werkpakket worden demonstrators ontwikkeld, gericht op het oplossen van de eerder geselecteerde automatiseringsvraagstukken. Het resultaat is dat minimaal twee demonstrators in minstens twee verschillende sectoren worden ingezet. De bijbehorende prestatiegegevens worden publiekelijk vastgelegd, zodat de behaalde resultaten inzichtelijk zijn voor alle betrokken partijen en toekomstige toepassingen kunnen worden gestimuleerd.

4. **Europese (semi-) humanoïde robot toeleveringsketen**

Het doel is een Europese technologische basis te creëren voor hoogwaardige (semi-) humanoïde robots via een modulair ontwerp. Hiervoor worden energie-efficiënte actuatoren, tactiele sensoren en besturingsmodules ontwikkeld en geïntegreerd. Er wordt gezocht naar een balans tussen humanoïde en industriële robotvormen. Geavanceerde functionaliteiten als positie- en krachtregeling, taakgerichte pad-planning en adaptief gedrag worden mogelijk gemaakt door integratie van extra sensoren en actuatoren, zoals camera's en actieve grippers. Belangrijk is het in kaart brengen van de internationale waardeketen en het identificeren van strategische Europese leveranciers. Uiteindelijk wordt een prototype humanoïde robot ontwikkeld, grotendeels met Europese componenten.

32 Robotica in voedselverwerking is opgenomen in het innovatieprogramma "Flexibele en efficiënte machines voor voedselverwerking"

Gantt chart

Werkpakket	Omvang (€ mln)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1. Klant-gestuurde co-creatie	1,5										
2. Modulaire robotplatforms	9										
3. Demonstratie robots	22,5										
4. Europese toeleveringsketen	15										

Verbinding met andere actieagenda's

Dit innovatieprogramma ontwikkelt concepten en platformen voor geïntegreerde robotsysteemoplossingen. Deze zullen deels gebaseerd zijn op componenten en subsystemen die in de actieagenda's **Optical Systems & Integrated Photonics**, **Imaging Technologies** en **Semiconductor Technologies** ontwikkeld worden.

Gebruik van robots vereist toegang tot veel data van hoge kwaliteit. Daarnaast genereert gebruik van robotica ook data die persoonlijk of commercieel gevoelig kan zijn. Ook zijn synthetische data-omgevingen nodig voor *in-silico* ontwikkeling en testen van robotica-componenten. De ontwikkelingen in de actieagenda's **AI & Data** en **Cybersecurity** ten aanzien van federatieve infrastructuren en world models / foundation models zijn daarom relevant ter ondersteuning van producten ontwikkeld in dit innovatieprogramma.

Financiële breakdown

Omvang programmakosten

De totale omvang van de programmakosten bedraagt € 48 miljoen.

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (€ mln)	Publiek (€ mln)	Privaat (€ mln)
1. Klant-gestuurde co-creatie	1,5	0,7	0,8
2. Modulaire robotplatforms	9	7,5	1,5
3. Demonstratie robots	22,5	12	10,5
4 Europese toeleveringsketen	15	4	11
Programma Totaal	48	24,2	23,8

Fieldlab RoboHouse,³³ waarin mkb en robot-ontwikkelaars samenwerken om praktijkgericht robotica-oplossingen te ontwikkelen, draagt direct bij aan werkpakket 1.

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd (welke type activiteiten/ middelen worden wanneer ingezet)

Type	Beoogde financiering (€ mln)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	1,5
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen	1,8	1,8	1,8	4,5	5,1	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	31,5
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	15
Totaal	3,45	3,45	3,45	6,15	6,75	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	48

Betrokken partijen

Ambyon, Avular, Batenburg, Demcon, Fontys, Lely, Innovatiecluster Drachten, RuG, Saxion, TU Delft, TU/e, TNO, UT, VDL ETG, Voortman Steel Machinery, WUR, (relevante MBOs ntb)

5.5. Flexibele en efficiënte machines voor voedselverwerking

Algemene beschrijving



De Nederlandse voedselverwerkende industrie is met ruim €110 miljard productie de grootste industriële deelsector en een internationale top-3 exporteur van voedselverwerkende machines.^{34,35} Tegelijkertijd is de sector arbeidsintensief, met een oplopende vraag naar gekwalificeerd personeel en groeiende arbeidskosten. Jaarlijks wordt 18% van het voedsel verspild in de verwerkende industrie, wat leidt tot miljardenverliezen en onnodige uitstoot. De sector is verantwoordelijk voor 12% van het energieverbruik in de Nederlandse industrie³⁶ en staat onder druk door regelgeving.^{37,38}

³³ [About · RoboHouse](#)

³⁴ [FNLI Monitor Levensmiddelenindustrie](#)

³⁵ [Aeternus | Waarderingsmethodes bij de waardebeoordeling van machinebouw foodprocessing bedrijven](#)

³⁶ [ABN AMRO | Sneller verduurzamen geeft voedingsproducent voorsprong](#)

³⁷ <https://www.vmt.nl/74803/water-wordt-fors-knelpunt-voor-voedingsindustrie>

³⁸ [Topsector agrifood | Structureel watertekort dwingt tot slimmer watergebruik in de levensmiddelenindustrie](#)

Slimme technologieën, zoals sensoren voor kwaliteitsmonitoring of robotica voor arbeidsbesparing, zijn essentieel om voedselverspilling drastisch te verminderen, energie-, water- en grondstoffengebruik te verlagen en arbeidsproductiviteit te verbeteren. Alleen hiermee wordt concurrentiekracht behouden terwijl voedselveiligheid op zijn minst gelijk blijft. Tegelijkertijd ervaren bedrijven (met name mkb) nog duidelijke drempels voor de adoptie van dergelijke technologieën:

- Technologie werkt niet altijd in de aanwezigheid van vet en vocht, bij lage temperatuur, of na (chemische) reiniging.
- Indirecte kosten van procesaanpassingen worden vaak niet meegerekend als return on investment voor technologie-investeringen wordt bepaald.
- Een versnipperd innovatie- en testlandschap, waardoor er een gebrek is aan toegankelijke praktijkomgevingen om implementatie te testen.
- Beperkte standaardisatie rond food-grade sensor- en robotica-ontwikkeling.

Daarom richt dit innovatieprogramma zich niet alleen op de ontwikkeling van nieuwe technologie, maar juist ook op de adoptie en implementatie, om bedrijven het vertrouwen te geven om te investeren in dergelijke technologie.

Kennisvragen die geadresseerd worden, zijn:

1. Integratie van sensoren

- Hoe wordt sensortechnologie geïntegreerd in voedselverwerkingsmachines?
- Hoe zorg je voor betrouwbare datacalibratie in variabele, vervuilde en natte omgevingen?

2. Flexibele en hygiënische grijpertechnologie

- Welke materialen zijn geschikt voor hygiënisch, voedselveilig contact en snelle reiniging?
- Hoe realiseer je betrouwbare detectie en grip op heterogene (food) producten?
- Hoe integreer je sensoren in grippers zonder hygiëne- of veiligheidsrisico's?

3. Integratie in flexibele robot- en procesoplossingen

- Hoe integreer je sensoren, robotica en machinebesturing in ongestructureerde omgevingen?
- Hoe ontwerp je operatorvriendelijke systemen die effectief in bestaande fabrieken passen?

Aanpak

Dit innovatieprogramma bestaat uit vier werkpakketten:

1. Sensor integratie

Dit project focust op de integratie van food-grade (opto)mechatronische sensoren in voedselverwerkingsmachines, voor zowel in-line als at-line toepassingen. De aandacht ligt op technologieën die in andere sectoren al TRL6 behaald hebben en vertaald worden naar de voedselverwerking.

Sensorontwikkelaars, machinebouwers en voedselverwerkers werken samen aan specificaties en minimale prestatiecriteria, inclusief randvoorwaarden zoals hygiënische behuizing. Geïntegreerde sensoren worden getest in realistische omgevingen op betrouwbaarheid, snelheid, hygiëne en procesintegratie. Mogelijke technologieën zijn:

- Optomechatronische sensoren voor in-line productsamenstelling (vet, vocht, eiwitten, suikers).
- Mechatronische sensoren voor trillings- en temperatuuranalyse (predictive maintenance), en
- Tactiele sensoren voor grijpkracht en handling toepassingen.

Ook is er ruimte voor vroeg onderzoek naar bijvoorbeeld microbiële sensoren en photonic integrated circuits. Minimaal vijf sensoren worden geïntegreerd en getest voor verschillende toepassingen. De resultaten worden gedeeld om design-for-food-grade als standaard te vestigen.

2. Flexibele en hygiënische grijpertechnologie

Dit project richt zich op de ontwikkeling en het testen van flexibele grippers die snel kunnen wisselen tussen verschillende producttypen, geschikt zijn voor kleine series en variabele, zachte vormen, én eenvoudig te reinigen zijn. Verschillende gripperconcepten (soft, vacuüm, mechanisch, hybride) worden vergeleken op snelheid, krachtcontrole, reinigbaarheid en kosten. Sensorintegratie, met druk-, kracht-, temperatuursensoren, maakt real-time kwaliteitscontrole mogelijk. Prototypes worden iteratief geoptimaliseerd en getest, met focus op vlees/vis (hoge hygiëne), fruit/groente (delicaat, ongelijkmatig) en producten met hoge contaminatie. Na succesvolle pilots volgt opschaling naar drie implementatiecases met verwerkende bedrijven. Ook wordt gewerkt aan een ontwerpmethodiek en standaard voor food-grade grippers, gericht op hygiënisch design en integratie. Vijf types grippers worden volledig doorontwikkeld worden tot opschaling, elk voor een specifiek toepassingsgebied.

3. Integratie tot flexibele bin-picking machine

De resultaten van werkpakketten 1 & 2 worden geïntegreerd in een flexibele, hygiënische binpicking-robot die minstens zo snel werkt als een medewerker, ook bij natte, glanzende of zachte producten, en binnen een kostprijs die in de markt acceptabel is. De systeemarchitectuur wordt samen met mechatronica-experts, machinebouwers, voedselverwerkers en gebruikers ontwikkeld. Controlesystemen, mechanica, elektronica en data-integratie worden iteratief uitgewerkt met gebruikersfeedback, gericht op kostenefficiëntie. De uitkomst van dit werkpakket zijn twee stabiele prototypes voor verschillende sectoren, ondersteund door trainingsmateriaal en gebruikscasussen voor operators, inclusief continu monitoren van productschade.

4. Bedrijfsgerichte living labs

Parallel aan de technologische ontwikkelingen wordt een structuur voor bedrijfsgerichte living labs opgezet, waar mogelijk ondersteund door Smart Industry living labs. Deze labs bieden realistische testomgevingen voor machinebouwers, voedselverwerkers en technologieaanbieders om innovaties gezamenlijk te valideren, inclusief benodigde aanpassingen aan huidige productieprocessen.

De living lab-structuur bouwt zoveel mogelijk voort op bestaande infrastructuur en faciliteiten, zoals Qing Food Automation en de Wageningen University & Research. De living lab-structuur

wordt zo ingericht dat het relevant is voor diverse soorten voedsel. Aan de hand van de behoeftes en specificaties van de industrie worden een of meer locaties opgezet, met een balans tussen schaalgrootte en geografische toegankelijkheid. Labs zijn modulair ingericht en beschikken over moderne data-infrastructuur voor resultaatmeting en interoperabiliteit. Partners leveren naast apparatuur ook personeel en procesbeschrijvingen. Een speciaal aangewezen kenniscoördinator zorgt voor brede kennisdeling, onder andere via presentaties, publicaties en het onderwijsaanbod. Een onafhankelijke regisseur wordt aangesteld om partijen te verbinden en aan te sluiten bij Europese initiatieven.

Gantt chart

Werkpakket	Omvang (€ mln)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1. Sensorontwikkeling	12										
2. Grijpertechnologie	9										
3. Integratie tot flexibele bin-picking	10										
4. Nationaal netwerk living lab	30										

Verbinding met andere actieagenda's

Het innovatieprogramma Agri-food in actieagenda **Optical Systems and Integrated Photonics** focust met name op sensoren en verlichting voor de 'agri' kant, dit innovatieprogramma op voedselverwerking ('food'-kant). Beide zijn complementair en delen inzichten, methodes en producten.

Training en zelfgestuurde aanpassing van modellen zijn essentieel voor sensoren en robotica. Modellen moeten flexibel een beladingspatroon, kwaliteitstafwijking of nieuw product herkennen; technologische ontwikkeling van relevante world models/foundation models komt uit actieagenda **AI & Data**.

Het innovatieprogramma "Versnelling van Veredeling" in de actieagenda **Biomolecular & Cell Technologies** richt zich op cellulaire agricultuur en zaadveredeling. Op korte termijn is er weinig overlap, op lange termijn ontstaan mogelijk nieuwe ingrediënten voor de voedselketen; regelmatige voortgangsuitwisseling is voor nu voldoende.

Financiële breakdown

Omvang programmakosten

De totale omvang van de programmakosten bedraagt €61 miljoen. De CapEx van living labs wordt publiek gefinancierd; OpEx privaat o.a. via in-kind inzet. Werkpakket 3 eindigt op een hoog TRL-niveau en heeft daarom een relatief hoge contributie van private middelen.

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (€ mln)	Publiek (€ mln)	Privaat (€ mln)
1. Sensorontwikkeling	12	6	6
2. Grijpertechnologie	9	4,5	4,5
3. Integratie tot flexibele bin-picking	10	3,5	6,5
4. National netwerk living lab	30	16,5	13,5
Programma Totaal	61	30,5	30,5

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd (welke type activiteiten/ middelen worden wanneer ingezet)

Type	Beoogde financiering ((€ mln))										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen	2,25	2,25	2,25	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	12
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen	2	2,5	4	5	4	3,75					21,25
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen	2	3	4	4,5	4,5	3,5	2,50	2,25	0,75	0,75	27,75
Totaal	6,25	7,75	10,25	10,25	9,25	8,00	3,25	3	1,5	1,5	61

Betrokken partijen

Burkert, ZTI Smart Machines, OnePlanet, Jheronimus Academy of Data Science, QING Food Automation, Helsing, Rademaker, Yaskawa, WUR, Sormac, TU/e, RuG, Mars Wrigley Europe, Kiremko/Idaho Steel/Reyco, FrieslandCampina, Marel, Next Tech Food Factories

5.6. Onbemenste systemen

Algemene beschrijving

Onbemenste systemen oftewel drones (UxS) zijn uitgegroeid tot een strategische technologie met toepassingen in defensie, landbouw, logistiek, rampenbestrijding en infrastructuurinspectie. Wereldwijd investeren overheden en bedrijven miljarden. Ook Nederland prioriteert onbemenste systemen als onderdeel van de Defensie Strategie voor Industrie & Innovatie.³⁹ Hoewel publiek-private activiteit in Nederland nog kleinschalig en tot op zekere hoogte versnipperd is,⁴⁰ vergeleken met elders in de wereld, ontpopt Nederland zich steeds meer tot een leidende drone-partij binnen Europa met de nodige initiatieven.⁴¹

³⁹ Defensie Strategie voor Industrie & Innovatie 2025-2029.

⁴⁰ Regionaal Versterkingsplan NTS, Waardeketen Dual-Use Onbemenste Systemen (waaronder drones).

⁴¹ STRAIK-D 2025: Strategische Actieagenda Industrie, Innovatie en Kennis - Defensie

Het doel van dit innovatieprogramma is om de positie van Nederland op het gebied van UxS te versterken, door slim in te zetten op niche technologische bouwblokken gerelateerd aan M&OM. Daarnaast wordt gekeken hoe kennis & kunde toegepast kan worden op het productieproces zelf, om een stabiele productiebasis met voldoende flexibiliteit in Nederland te realiseren. Een bijzondere kans ligt hier voor onderwater-platformen, een internationaal *white spot* die Nederland kan adresseren met haar al bestaande industrie, kennis en kunde.

De hieronder genoemde voorstellen zijn synergetisch met bestaande initiatieven. Zo overlappen ze deels met de propositie 'Nationale drone-capaciteit & ontwikkelprogramma' die is ontwikkeld voor het Wennink-rapport, maar leggen ze de focus op de M&OM-onderdelen hiervan. Het 'Nationaal plan onbemenste systemen' (onderdeel van de RV-NTS) wordt versterkt door dit innovatieprogramma, doordat de ontwikkelde communicatiemodules (project 1) binnen het nationaal plan kunnen worden toegepast, en de geautomatiseerde productie toolkit (project 2) de kosten van platformproductie drukt.

Drivers achter dit programma zijn:

- De geopolitieke situatie: vanwege de toenemende instabiliteit in Europa schroeven lidstaten hun investeringen in Defensie op.
- De veranderende oorlogsvoering: drones spelen een steeds belangrijkere rol in de militaire doctrine van verkenning en surveillance, tot precisieoperaties en meer logistieke taken. Specialistische dronebataljons worden opgericht⁴² en drones zijn verantwoordelijk voor naar schatting 50% van de slachtoffers in moderne conflicten.⁴³
- Civiele drivers: Hoewel de militaire use-cases de voornaamste drivers achter de marktgroei zijn,⁴⁴ kennen drones ook tal van civiele toepassingen, zoals hierboven ook al aangegeven. Belangrijke drivers hierachter zijn beschikbaarheid van personeel, maar ook de flexibiliteit die drones bieden t.o.v. menselijke arbeid.⁴⁵
-

Kennisvragen achter dit programma zijn:

- Welke (micro)vibraties zijn te verwachten op een drone platform en hoe kunnen deze gemitigeerd worden om optische communicatie-terminal pointing te verbeteren?
- Op welke manier moet de netwerkstack worden geconfigureerd om een robuust netwerk te creëren in de dynamische omgeving van een optisch drone-netwerk?
- Welke geavanceerde technieken zoals fotonische chips, topologie optimalisatie en nieuwe control-methodieken kunnen gebruikt worden om het systeem te optimaliseren in Size Weight and Power (SWaP)?
- Welke smartindustry-technieken kunnen worden toegepast om de productie van drone-platformen in Nederland kosteneffectiever te maken?

42 [*Dronebataljons | Militaire Spectator*](#)

43 [*De drone-revolutie van 2025 | Clingendael Spectator*](#)

44 [*Military drones: current trends in the market - Polytechnique Insights*](#)

45 Zie bijv. Toelichting van RWS waarom zij drones inzetten bij inspecties van objecten, gebouwen en gebieden: [*Inzet drones door marktpartijen*](#)

- Hoe kunnen samenstellingen van verschillende dronetypes worden gebruikt om missies uit te voeren in uitdagende navigatie- en communicatieomstandigheden?
- Hoe kunnen complexe drone-interacties effectief gesimuleerd worden en hoe kunnen deze simulaties worden ingezet om innovatiesnelheid te vergroten?

De wereldwijde markt voor UxS bedraagt momenteel \$70 miljard.⁴⁶ Met een groeipercentage van 15% en Europees marktaandeel van 25% (beide gemiddeld over meerdere bronnen), wordt de Europese markt voor onbemanste systemen ongeveer €75 miljard in 2035. In een conservatief scenario, waar de grotere leveranciers buitenlandse partijen blijven,⁴⁷ levert dit een BBP-bijdrage van orde-grootte €2 miljard op. Gezien het gros van de drone-activiteiten buiten dit programma plaats zal vinden, is een realistische inschatting van BBP-groei die uit dit programma voortvloeit ongeveer €100 miljoen per jaar in 2035, cumulatief €500 miljoen.

Aanpak

Dit innovatieprogramma bestaat uit vijf werkpakketten:

1. Optische communicatiemodules voor UxS

De oorlog in Oekraïne heeft aangetoond dat RF-verbindingen gevoelig zijn voor electronic warfare, specifiek jamming en spoofing. Om communicatie met drones mogelijk te maken wanneer RF-communicatie niet beschikbaar is dan wel niet de juiste bandbreedte kan bieden, is draadloze lasercommunicatie een kansrijk alternatief.

Dit project ontwikkelt een optische communicatieoplossing voor UxS. Onderdeel hiervan zijn het in kaart brengen van de vibraties die gemitigeerd moeten worden voor een juiste Pointing, Acquisition, Tracking (PAT), het realiseren van passende mitigatieoplossingen (hardware + software), terminalontwerp en -integratie en testing & validation. Ook dient aandacht te worden besteed aan de network layer, zodat platformen op een efficiënte manier met elkaar communiceren en de juiste functionaliteiten te realiseren.

2. Geautomatiseerde productie toolkit (Smart Manufacturing) voor UxS

Voor de strategische autonomie van Nederland en Europa moet de productie van kritieke drone-platformen en -subsystemen (groten)deels binnen de grenzen van Nederland en EU plaatsvinden. Momenteel worden kleine aantallen hoofdzakelijk handmatig geproduceerd, maar met de hoge loonkosten is dit op termijn niet houdbaar. Daarnaast is er behoefte om productielijnen snel te kunnen omschakelen, om de grote heterogeniteit aan platformen te ondersteunen, maar ook het hoge innovatietempo in de sector. Dit project richt zich op het ontwikkelen en implementeren van een toolkit voor geautomatiseerde platform- en subsysteemproductie, met behulp van mechatronische en optomechatronische technieken. Hierbij kan worden gedacht aan autonome robotcellen voor productiestappen en assemblage, verregaande camera vision integratie (2D en 3D) voor het automatiseren van workflows, in-line quality control inclusief non-destructive

⁴⁶ [*Drone Market Size, Share & Growth | Industry Report, 2030, Drone Market Size, Share and Forecast to 2030, Global Drone Industry: 2025 Market Report*](#)

⁴⁷ Zie ook Rapport Wennink t.a.v. handelstekort m.b.t. UxS

testing, flexibele zelf-configuratie van productieomgevingen en systemen die zelfstandig beslissingen nemen op basis van dynamische scenario simulatie. Implementatie wordt gekoppeld aan een voorbeeldproduct waar substantiële aantallen van worden afgenomen, bijvoorbeeld het bewerken van composietdelen of assemblage van subsystemen.

3. **Underwater platforms (UUV)**

Dit werkpakket focust op een systeemconcept van stand-off 'nested' onderwaterdrones. Dit concept en bijbehorende technologie is schaalbaar en ondersteunt dual-use applicaties voor militaire en civiele operaties onder water zowel op de Noordzee als daarbuiten. Het concept gaat uit van een basisdrone (moederdrone) dat in staat is om autonoom een aantal subdrones (dochterdrones) uit te zetten en weer op te halen (launch & recovery). De basisdrone kan als laadstation dienen, data ontvangen van de subdrone(s) en missie aanpassingen doorgeven. De grote endurance van de basisdrone gecombineerd met energie-efficiënte subdrones maakt het mogelijk om een groot gebied efficiënt in kaart te brengen. Voor de interactie van de nested drones is het belangrijk dat de drones onderling gericht kunnen communiceren om gecoördineerd en veilig te kunnen acteren.

Het kennishiaat rond autonoom launch & recovery van nested onderwaterdrones wordt gefaseerd opgevuld. Het volledige concept wordt op laag TRL-niveau uitgewerkt, waarbij de basisdrone statisch is (maar subdrones dynamisch). Na het eerste jaar wordt een demonstrator gebouwd om de launch & recovery-functionaliteit in een bassin of binnenwater te tonen. De laatste stap is het maken van simulaties waarbij zowel de basisdrone als de subdrone varen tijdens launch & recovery. Leveranciers van de basisdrone en subdrones werken samen aan taakspecialisatie in een system of systems architectuur. Dit bevordert de uitwisseling van kennis en versnelt de technologische innovatie van onderwaterplatformen.

4. **Hoog-precisie en hoog-prestatie UxS**

UxS in kritieke missies, zoals ISR (Intelligence, Surveillance and Reconnaissance), hebben beperkt toegang tot wereldwijde navigatiesatellietsystemen (GNSS). Er is behoefte aan nieuwe M&OM-technologieën voor lokalisatie en mapping met een nauwkeurigheid van beter dan 1 meter. Door sensorfusie van verschillende on-board sensorsystemen (intertie-navigatie, visie, laser en radio) kan UxS zichzelf met cm nauwkeurigheid lokaliseren, waarbij ze kunnen worden ingezet als beacon, tracker of 3D-sensorsysteem voor het monitoren van het milieu.

Een andere cruciale capability van UxS in de toekomst is wendbaarheid, energiezuinigheid en snelheid. Toekomstige missies vereisen de inzet van UxS in snelle, dynamische omgevingen en tijdens langdurige operaties, waarbij UxS snel moet kunnen reageren en zich energiezuinig moeten kunnen verplaatsen. Innovaties in UxS-technologieën en -ontwerp zijn nodig om deze hoogpresterende UxS te realiseren, waaronder embedded machine learning, sensorsystemen, UxS-ontwerp en actuatorsystemen.

5. UxS zwermtechnologieën

De inzet van een UxS-zwerm biedt een kosteneffectieve en efficiënte manier om kritieke omgevingen te monitoren, zoals in de landbouw of bij search-and-rescue-missies. De individuele informatie van elke UxS in de zwerm kan worden verwerkt om gedetailleerde inzichten te verkrijgen. Dit werkpakket ontwikkelt de benodigde zwermtechnologieën voor een robuuste, nauwkeurige en hoogdichte UxS zwerm die kan opereren in omgevingen met beperkte informatievoorzieningen, zoals GNSS. Dit vereist nieuwe on-board opto-mechatronische sensorsystemen, embedded machine learning en gedistribueerde, robuuste en veilige regelsystemen.

Gantt chart

Werkpakket	Omvang (€ mln)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1. Optische communicatie voor UxS	10										
2. Geautomatiseerde productie van UxS	10										
3. Underwater platforms (UUV)	9										
4. Hoog-precisie en hoog-prestatie UxS	10										
5. UxS zwermtechnologieën	10										

Verbinding met andere actieagenda's

In de actieagenda **Optical Systems & Integrated Photonics** wordt aandacht besteed aan de ontwikkeling van geïntegreerde fotonica, wat een cruciale component vormt van de optische communicatiemodule voor UxS. De geautomatiseerde productietoolkit kan gebruikt worden voor UxS-subsystemen die in OSIP geïntegreerd worden. Tenslotte kunnen enkele technologieën, ontwikkeld in OSIP (bijvoorbeeld Lidar), worden ingezet in het UUV-project.

In de actieagenda **AI & Data** wordt aandacht besteed aan nieuwe foundation models. Als deze specifiek gemaakt worden voor UxS-aansturing, is er een mooie synergie mogelijk met het project Optische Communicatie voor UxS door de integratie van optische-communicatieoplossingen in een AI-autopilot suite.

In de actieagenda **Imaging technologies** wordt onder meer ingezet op de ontwikkeling van drones met hyperspectrale camera's en een drone muur. Ook hier kan Optische Communicatie samen met oplossingen geleverd in Imaging Technologies, totaal aan capaciteiten opleveren, terwijl de productietoolkit behulpzaam kan zijn voor efficiënte productie van drones.

Financiële breakdown

De totale omvang van de programmakosten bedraagt € 49 miljoen.

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (€ mln)	Publiek (€ mln)	Privaat (€ mln)
1. Optische communicatie voor UxS	10	6	4
2. Geautomatiseerde productie van UxS	10	5	5
3. Underwater platforms (UUV)	9	5	4
4. Hoog-precisie en hoog-prestatie UxS	10	5	5
5. UxS zwermtechnologieën	10	5	5
Programma Totaal	49	26	23

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd (welke type activiteiten/ middelen worden wanneer ingezet)

Type	Beoogde financiering (€ mln)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	7
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	7
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen	5	6	6	6	2	2	2	2	2	2	35
Totaal	7	8	8	8	3	3	3	3	3	3	49

Betrokken partijen

TNO, 4TU, VDL-ETG, FSO Instruments, Royal IHC, Lobster Robotics, RuG, Saxion

5.7. Aardobservatie

Het IP 'Aardobservatie' is een conceptprogramma dat later in het proces is ingevoegd en de actuele status d.d. 16-12-2025 weergeeft. Het IP staat open voor additionele partners of project ideeën.

Algemene beschrijving

Nederland is wereldwijd toonaangevend in het ontwikkelen van nieuwe optische satellietinstrumenten voor aardobservatie van onder meer luchtkwaliteit, broeikasgassen en stikstofproblematiek. Aardobservatie wordt



Credit: © ESA/ATG medialab

ook gebruikt door het bedrijfsleven voor civiele en defensietoepassingen. Om maatschappelijke impact en commerciële control points te creëren moet deze kennispositie worden verstevigd, door verdere M&OM-innovaties te ontwikkelen:

- Geavanceerde telescopen met bijvoorbeeld mechanische uitvouwbare varianten, stuurspiegels of robuuste polarization scramblers.
- Compactere en krachtigere spectrometers.
- Polarimeters met innovaties zoals compressive sensing met metasurfaces van nanostructuren.

Ook is er behoefte aan stabiele thermische en mechatronische technologieën om zulke compacte, complexe en gevoelige instrumenten op kleine satellieten te realiseren. Daarnaast zijn platformtechnologieën nodig die de integratie en systeemprestaties optimaliseren. Hoogwaardige fabricageprocessen zijn cruciaal om componenten te produceren die de prestaties van deze instrumenten en systemen waarborgen. Tenslotte is er behoefte om innovaties door te vertalen tot dual use applicaties voor defensiebedrijven. Dit programma heeft een focus op M&OM-hardwareontwikkeling, maar stimuleert de hele waardeketen: van ontwerp en productie van instrumenten, hun kalibratie, en dataverwerking, tot actionable data voor de eindgebruiker (zoals beleidsmakers). In de hele keten zijn er relevante activiteiten voor industrialisatie en valorisatie door het bedrijfsleven, zoals serieproductie van instrumenten, om te komen tot marktgedreven toepassingen.

Drijfveren:

- Emissies van broeikasgassen, stikstof, fijnstof, en chemicaliën hebben negatieve gevolgen voor mens en milieu. Hoogwaardige aardobservatiedata is essentieel voor het monitoren van veiligheid, gezondheid en milieu, en voor de ondersteuning van beleidskeuzes.
- De geopolitieke situatie en defensiebehoeften benadrukken het belang van onafhankelijkheid en innovatie in remote sensing.
- Transitie van overheid gedreven activiteiten (bijvoorbeeld wetenschap) naar markt gedreven activiteiten (opschalen, industrialisatie).

Kennisvragen die geadresseerd worden:

- Welke optomechatronische technologieën en architecturen bieden betere aardobservatie-instrumenten, zoals een verbeterde detectielimiet en spatiele resolutie?
- Welke optomechatronische technologieën en architecturen bieden goedkopere, snellere en kleinere aardobservatie-instrumenten, die geschikt zijn voor constellaties van satellieten?
- Welke mechatronische technologieën bieden betere thermo-mechanische stabiliteit van aardobservatie-instrumenten, tijdens de lancering en de operationele fase in de ruimte?
- Hoe kan de integratie van platform, instrument en grondsegment geoptimaliseerd worden voor betere en meer consistente datakwaliteit?
- Welke technologieën en architecturen zijn beter geschikt te maken voor serieproductie en geautomatiseerde kalibratie en verificatie, om marktgedreven activiteiten mogelijk te maken?

Dit voorstel draagt bij aan missies 1 t/m 5 van de langetermijn-ruimtevaartagenda. Ook levert dit innovatieprogramma een bijdrage aan de nationale veiligheid. Een studie van PWC in opdracht



van Climate Space NL projecteert een markomzet voor Nederlandse partijen van €350 miljoen per jaar vanaf 2040, voornamelijk voor methaan-emissiemonitoring. Deze businesscase is opgenomen in de Agenda Imaging Technologie, maar dit geeft een indicatie voor het potentieel van aardobservatie. Voor CO₂ is de marktwaarde minder duidelijk, maar de verwachte impact een stuk groter: in 2024 waren de inkomsten van het Europese emissiehandelssysteem (ETS) €39 miljard. Beter alloceren en monitoren van ETS inkomsten heeft een potentiële waarde van honderden miljoenen euro's. Ook heeft een Europees stikstofmonitoringssysteem op basis van satellieten geschatte kosten van €200 miljoen, dat grotendeels terug kan vloeien naar Nederlandse industrie en wetenschap.

Aanpak

Het innovatieprogramma bestaat uit vier werkpakketten:

1. Monitoren van ammoniakemissies

Dit werkpakket ontwikkelt een Nederlands satellietinstrument dat 90% van de ammoniakemissies in de EU kan monitoren. Zo'n instrument is essentieel voor een Europees stikstofmonitoringssysteem dat de concurrentiepositie van Nederland beschermt. Hiervoor is disruptieve instrumentontwikkeling nodig met onder meer hoge resolutie, compacte afmetingen en hoge nauwkeurigheid in het thermisch infrarood deel van het spectrum. Verbeteringen aan telescopen, spectrometers, de kalibratie en de thermo-mechanische stabiliteit van het instrument en platform zijn allemaal kritisch in dit golf lengtegebied. In de hele waardeketen, inclusief de dataverwerking, moet er kennis en ervaring opgedaan worden om tot een leidende positie in de wereld te komen. Tot minstens 2028 worden zowel de technologie en wetenschap ontwikkeld; in parallel wordt met Nederlandse en Europese overheden verkend hoe het Nederlands ecosysteem samen een missie kan opzetten. In 2028 wordt een investeringsplan en een missievoorstel gepresenteerd en tot 2035 geïmplementeerd. Hierna worden de instrumentconcepten en infrastructuur geïndustrialiseerd en opgeschaald door het bedrijfsleven om commerciële diensten te leveren.

2. Monitoren van broeikasgassen

De TANGO-missie, ontwikkeld in Nederland, kan 65% van de wereldwijde CO₂ en 75% van de methaanuitstoot monitoren. Dit werkpakket ontwikkelt technologie om nog meer van de wereldwijde emissies te kunnen vaststellen, wat essentieel is om klimaatdoelen te halen. Hiervoor moeten er instrumenten komen met een lagere detectiegrens voor het meten van steeds kleinere bronnen van emissies. Ook is er een betere dekking nodig voor voldoende verificatie. Dit kan behaald worden met constellaties van satellieten, waarvoor schaalbaarheid, compactheid en kostenbesparingen belangrijk zijn. Innovaties op het gebied van grotere telescopen, gevoeligere spectrometers, stabiele mechatronica, kalibratie en dataverwerking zijn allemaal innovaties zoals compressive sensing met metasurfaces zijn in het bijzonder interessant om tot veel compactere en schaalbare instrumenten te komen. De specifieke ontwikkelingen zijn deels afhankelijk van de beoogde gebruiksscenario's (prestaties ten opzichte van de kosten). Toepassingen zijn enerzijds commerciële diensten voor methaan-lekdetectie in de industrie, bijvoorbeeld in de olie- en

gassector, anderzijds verificatie van nationaal en internationaal beleid onder het Parijs akkoord. Voorbeelden zijn het Carbon Border Adjustment mechanism (CBAM), de EU-methaanverordening, de Global Stock Takes (GST) en de Global Methane Pledge. In beide gevallen komen er activiteiten voor het bedrijfsleven uit, bijvoorbeeld voor de industrialisatie van instrumenten en voor de infrastructuur in serieproductie.

3. Monitoren van luchtkwaliteit (wolken & aerosolen)

Dit werkpakket ontwikkelt nieuwe instrumenten om luchtkwaliteit en de effecten op gezondheid en klimaatverandering beter in kaart te brengen. De studie van fijnstof en wolken is hiervoor essentieel, bijvoorbeeld om extreem weer en bosbranden beter te voorspellen, koolstofmonoxide uit de staalindustrie te meten, en radiantiemodellen van de aarde te verbeteren. Dit zijn belangrijke ontbrekende factoren in klimaatmodellen.

De volgende generatie instrumenten hebben voornamelijk gevoeliger polarimetrie en betere telescopen nodig, voor hogeresolutie-metingen. Compressive sensing met metasurfaces is een kansrijke ontwikkeling. Stabiele mechatronica, (nano)fabricagetechnieken, kalibratie en dataverwerking blijven belangrijke ingrediënten om tot een volledig systeem te komen. Dit project zal compacte en hoogwaardige polarimeters van de toekomst ontwikkelen, met aandacht voor valorisatie-activiteiten voor het bedrijfsleven, zoals het opschalen van hardwareproductie.

4. Dual Use for ISR Imaging & polarimetrie

Intelligence, Surveillance, en Reconnaissance (ISR) heeft veel overlap met de andere aardobservatie-instrumenten en -technologieën. Dit werkpakket past innovaties toe op de defensiecasus, zoals nu al gebeurt bij de essentiële observatietechnologieën die het PAMI-programma van het Ministerie van Defensie mogelijk maken.⁴⁸ Mogelijke innovaties zijn:

- Combineren van radar en zichtbaar licht met andere golflengtes, zoals nabij en thermisch infrarood (data fusion).
- Ontwikkelen van hoge resoluties en meer verfijnde spectrale metingen.
- Ontwikkelen van uitvouwbare telescopen voor hele hoge spatiele resolutie.
- Polarimeters voor identificatie van metalen voorwerpen en voertuigen.

48 [Nieuwe satelliet van Nederlandse makelij | Nieuwsbericht | Defensie.nl](#)

Prioriteiten en kritische specificaties worden met Defensie en de industrie uitgewerkt.

Gantt chart

Werkpakket	Omvang (€ mln)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1. Monitoren van ammoniak- emissies	30										
2. Monitoren van broeikasgassen	25										
3. Monitoren van luchtkwaliteit	15										
4. Dual Use for ISR Imaging & Polarimetrie	10										

Verbinding met andere actieagenda's

Optical Systems & Integrated Photonics (OSIP). Geavanceerde optiek vormt het hart van veel van de Nederlandse toonaangevende satellietinstrumenten. Innovaties in optische componenten en in nieuwe systeemconcepten zijn essentieel om de nieuwe generatie instrumenten in dit innovatieprogramma te realiseren. De optomechanische en mechatronische technologieën die in dit programma zullen worden ontwikkeld, dragen ook bij aan de geavanceerde optische systemen voor allerlei toepassingen uit de OSIP-actieagenda. Denk aan innovatieve multispectrale, thermische en LIDAR-sensoren, sensoren voor veiligheid en klimaat in de *Defensie en dual use*, en *Remote sensing*-innovatieprogramma's.

De technologieën die in dit programma worden ontwikkeld, leggen de nadruk op hardware, en zullen complementair zijn met de ontwikkelingen in de **Imaging Technologies**-actieagenda, waar de hele keten van hardware via software tot informatie holistisch wordt aangepakt. Met name voor het *Multispectrale & hybride beeldvorming*-programma in het ruimte domein zijn er kansen om elkaar te versterken, bijvoorbeeld remotesensing-technologieën zoals hyperspectrale imaging via satelliet om klimaatverandering in kaart te brengen .

AI and Data. Verbeterde dataverwerking is cruciaal voor aardobservatie, om de groeiende datastroom te verwerken en datakwaliteit te verhogen. Weer- en klimaatmodellen gebruiken al AI om tot informatie te komen. Europa is hierin leidend in de wereld met het weercentrum ECMWF en de Copernicus Data Space Ecosystem. De drie pijlers van de AI and Data-actieagenda zijn zeer relevant voor aardobservatie en zeker voor atmosfeerdata waar al stappen worden gezet: het teweegbrengen van een sectorale transitie, het ontwikkelen van bedrijven en de bouw van infrastructuur.

Financiële breakdown

De totale omvang van de programmakosten bedraagt € 80 miljoen.

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (€ mln)	Publiek (€ mln)	Privaat (€ mln)
1. Monitoren van ammoniakemissies	30	23	7
2. Monitoren van broeikasgassen	25	14	11
3. Monitoren van luchtkwaliteit	15	10	5
4. Dual Use for ISR Imaging & polarimetrie	10	6	4
Programma Totaal	80	53	27

De genoemde bedragen zijn gebaseerd op de doelen voor technologieontwikkeling van het Clear Air-consortium en een jaarlijks benodigd budget van minstens €7,5M voor instrument R&D.⁴⁹ Klimaat- en milieumonitoring kent nog geen commerciële markt (behalve methaan-lekdetectie), waardoor publieke financiering overheerst. Monitoring van ammoniak-emissies is urgent voor Nederland en vereist een hoog budget. Voor dualuse-toepassingen voor Defensie dragen de andere projecten al bij aan de kritische technologieontwikkeling, wat een lager budget rechtvaardigt.

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd (welke type activiteiten/ middelen worden wanneer ingezet)

Type	Beoogde financiering (€ mln)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen	1	1	1	1							4
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen	1	1	1	1	1	1					6
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen	4	8	12	14	12	7	5	4	2	2	70
Totaal	6	10	14	16	13	8	5	4	2	2	80

Betrokken partijen

TNO, SRON, KNMI, TU Delft, WUR, VU Amsterdam, RuG, TU/e, UT, Airbus Nederland, ISISPACE, cosine

⁴⁹ Instrument realisatie en missie implementatie zullen aanvullende budgetten vergen.

6. Technologische verdieping in ST

Zoals eerder beschreven is mechatronica een multidisciplinaire technische discipline waarin mechanische, elektrische, informatie- en besturingssystemen samenkomen voor hoogwaardige en uiterst precieze systemen met een autonomie van 1 of hoger. Optica komt daar nog eens expliciet bij, waarmee we over optomechatronica spreken. Nu de systemen steeds complexer worden, is er technische verdieping nodig op de twee aspecten van mechatronica & optomechatronica (M&OM). Als eerste is er het aspect van de multidisciplinaire manier van werken, waar bijvoorbeeld het verdergaand automatiseren van het ontwerpproces een thema is, net als het beter kunnen beheersen van het kostenaspect van de ontwikkelde systemen. Ten tweede is er het aspect van de specifieke onderliggende technologieën, waar bijvoorbeeld het uitbreiden van onze kennis over materialen, optica, dynamica en regelsystemen is genoemd.

Voor het verdiepingsprogramma wordt een budget van €100 miljoen voorzien, waarvan €35 miljoen privaat en €65 miljoen publiek.

6.1. Automatisering in het ontwerpproces

Uitdaging

De uitdaging is om met minder specialisten het ontwerpwerk sneller te kunnen doen want de specialisten zijn schaars en het ontwerpwerk wordt omvangrijker. Het huidige engineeringproces doorloopt meerdere iteraties van ontwerp, analyse, experiment, validatie en keuze, zelfs bij eenvoudige specificaties. Dit kost steeds meer tijd en menskracht en zou (gedeeltelijk) geautomatiseerd kunnen worden. De krapte op de arbeidsmarkt versterkt de noodzaak om de ontwerpprocessen daar waar mogelijk te automatiseren, vooral voor minder uitdagende en repetitieve taken. Ook de snelheid van het ontwerpproces moet omhoog om concurrerend te blijven met een snellere time-to-market. Waar Nederland vroeger uitblonk in het in één iteratie realiseren van werkende systeemoplossingen, is snelheid nu een cruciale factor geworden door de toegenomen internationale concurrentie.

Het succes wordt gemeten aan de hand van een mechatronic design automation roadmap, met bewezen KPI's op FTE's en doorlooptijd. Bedrijven moeten hun ontwerp-usecases succesvol kunnen realiseren met deze nieuwe methodieken, die in onderwijs en onderzoek worden geïntegreerd en daarnaast open source en modulair zullen zijn. Het accent bij deze technologische verdieping ligt in het efficiënter maken van het ontwerpproces; door automatisering met minder ontwerpers, sneller tot een passende oplossing komen.

Kerntechnologie

De kerntechnologie is het automatisch genereren van ontwerpen en bijbehorende analyses via een centrale kennisbank en simulatie *agents*. Nieuwe gereedschappen ondersteunen het genereren en beoordelen van concepten, topologie en architectuur, analyses, rapportages en gevoeligheidsstudies. Daarnaast zijn ook de modellering en optimalisatie van productieprocessen van belang, waarbij rekening gehouden wordt met toleranties en variatie bij verschillende leveranciers. Analyse- en



synthese worden samengebracht in een samenhangende set gereedschappen die voor iedere ontwerper beschikbaar is, zodat minder mensen nodig zijn en de efficiëntie toeneemt. Hierdoor ontstaat meer oplossingsruimte en zijn betere, goedkopere ontwerpen mogelijk.

Activiteiten

Een team van wetenschappers met complementaire expertise op het gebied van opto-mechatronisch ontwerp zal, aan de hand van gerichte ontwerpstudies op basis van industrie-relevante ontwerpscenario's, nieuwe manieren onderzoeken om technieken adequaat te bundelen, identificeren waar aanvullende ontwerpmethodes en -tools benodigd zijn, en daarvoor prototypes ontwikkelen. Er ontstaat een gemeenschap rond Automated Precision Mechatronics Design, gericht op kennisdeling, best practices en trainingen. Designs worden gerealiseerd bij OEM's en toeleveranciers met de nieuwe gereedschappen. De industrie wordt via subsidies gestimuleerd om deze in een vroeg stadium te gebruiken ondanks de leercurve. Er wordt geïnvesteerd in onderzoek en ontwikkeling van gereedschappen, zowel academisch als industrieel. Daarnaast wordt een open source, modulaire set gereedschappen ontwikkeld en geïntegreerd in het onderwijs. Wereldwijde ontwikkelingen worden geabsorbeerd en strategisch geïntegreerd om single source lock-ins te voorkomen.

6.2. Toenemende complexiteit

Uitdaging

Het mechatronisch ontwerpproces betreft alle relevante disciplines gelijktijdig. Het heeft te maken met groeiende uitdagingen die een gevolg zijn van de toenemende complexiteit van de te ontwikkelen systemen: systemen zijn opgebouwd uit veel onderdelen met veel onderlinge relaties en interfaces. Daarnaast groeit het aantal betrokken technische disciplines met bijvoorbeeld fysica en chemie, die steeds belangrijker worden voor de keuzes in het ontwerpproces. Het aantal relevante details voor het ontwerp neemt daarmee toe. Ook de ontwerpteams worden groter. Het beheersen van alle relevante parameters om optimale keuzes te maken wordt daarmee veel ingewikkelder. Het accent in dit verdiepingsprogramma ligt op het zorgen dat het ontwerpproces – dat met veel meer relevante parameters en details rekening moet houden en door veel grotere ontwerpteams wordt uitgevoerd – nog steeds passende en liefst optimale oplossingen kan vinden voor ontwerpproblemen.

Kerntechnologie

Digitalisering en AI zijn de kerntechnologieën. Digitalisering van systems engineering en ondersteuning van ontwerpprocessen staat centraal. Samenwerking tussen digitale gereedschappen vereist afspraken over semantiek en ontologie van de te ontwikkelen systemen. Digitale modellen van onderdelen moeten samenhangend beheerd en gesimuleerd worden (co-simulatie).

Onderliggende technologie

Belangrijke onderliggende technologieën zijn databases, cloudopslag en rekenkracht, datascience-technieken en AI-basistechnologie.



Activiteiten

Bij beschikbare financiering worden vier onderzoekslijnen uitgewerkt, elk met drie promovendi verdeeld over kennisinstituten. De onderzoeksthema's zijn:

- Het ontwikkelen van generieke semantiek en ontologie voor mechatronische systemen.
- Het opstellen van digitale modellen voor multidisciplinaire analyse en optimalisatie.
- Het generaliseren van regeltechnische concepten naar systeemniveau met bijbehorende systems engineering modelleertools.
- Het geschikt maken van deze tools als assistent voor ontwerpers.

Vijf bedrijven of ketens ondersteunen het programma, bij voorkeur combinaties van OEM's en toeleveranciers. Toolleveranciers worden benaderd om ideeën te integreren in commerciële tools die beschikbaar komen voor deelnemers.

6.3. Design-for-cost

Uitdaging

Het verdiepingsprogramma richt zich op de ontwikkeling en toepassing van design-for-cost-principes binnen het M&OM-ontwerp van hightech-systemen. In veel sectoren worden ontwerpbeslissingen genomen zonder voldoende inzicht in gevolgen voor productie, assemblage en kostprijs. Het ontbreekt aan geïntegreerde methoden die ontwerp en productie vroeg verbinden, waardoor in de industrialisatiefase onnodige kosten, herontwerprondes en vertragingen ontstaan. De kernuitdaging is het verdiepen van de samenkomst van ontwerp-informatie, machinedata en proceskennis. Zonder deze verdieping wordt het steeds moeilijker om systemen kostenefficiënt te ontwikkelen, zeker nu complexiteit en nauwkeurigheidseisen stijgen.

Kerntechnologie

De kern ligt bij geïntegreerde design-for-cost-technologie: methoden en digitale tools waarmee ontwerp, maakbaarheid en kostprijs samenhangend kunnen worden geanalyseerd. Digitale ontwerptools koppelen productmodellen aan productie- en assemblageprocessen, zodat ontwerpers sneller effecten van keuzes op tolerantieketens, nauwkeurigheid en productievariaties zien. Digital-twin-achtige omgevingen maken het mogelijk scenario's door te rekenen zonder fysieke prototypes. Door productmodellen te koppelen aan bestaande productiedata wordt het voorspellen van kosten, doorlooptijden en risico's betrouwbaarder. Zo kunnen ontwerpkeuzes vroeg in het traject beter worden onderbouwd voor een kostenefficiënte en schaalbare systeemoplossing.

Onderliggende technologie

Onderliggend zijn model-based ontwerpen, tolerantie-management en data-gedreven procesanalyse belangrijk. Model-Based Systems Engineering (MBSE) biedt gestructureerde product- en procesbeschrijvingen, waardoor varianten sneller doorgerekend kunnen worden. Tolerantieanalyse en statistische procescontrole geven inzicht in hoe variaties doorwerken in prestaties en kosten. Data-analyse wordt steeds belangrijker: historische productiedata maken kostenmodellen en nauwkeurighedsvoorspellingen realistischer. Simulatiemodellen voor



procesflow en doorlooptijd maken productieknelpunten in de ontwerpfase zichtbaar. Samen vormen deze technologieën het fundament voor de design-for-cost-methodiek.

Activiteiten

De eerste activiteit is methodiekontwikkeling: opzetten van een geïntegreerde engineering en ontwerpaanpak waarin productfunctionaliteit, maakbaarheid en kostprijs vanaf het begin verbonden zijn. Dit omvat design-for-cost-modellen, digitale ontwerpomgevingen gekoppeld aan productiedata en kostenbewuste ontwerprichtlijnen. MBSE ondersteunt dit, zodat disciplines met één systeemmodel werken. Daarna worden de methoden toegepast in drie tot vier industriële casussen met verschillende eisen, complexiteit en volumes. Hier wordt de volledige ontwerp-tot-productieketen doorlopen en worden voorspellingen getoetst aan meetdata en productieresultaten. Ten slotte wordt kennisdeling geborgd via ontwerprichtlijnen, referentiemodellen, procesbeschrijvingen, trainingen en workshops, zodat de methode breed gedragen wordt in de praktijk. Ook worden trainingen, workshops en opleidingsmateriaal ontwikkeld om zowel engineers als systeemarchitecten vertrouwd te maken met de nieuwe werkwijze. Door dit te combineren met kennisbijeenkomsten, publicaties en intersectorale uitwisseling wordt de methode breed gedragen in het ecosysteem.

6.4. Modulariteit en hergebruik van hardware en software

Uitdaging

Het programma focust op het vergroten van modulariteit en hergebruik van hardware- en softwarecomponenten in (opto)mechatronische systemen. In sectoren als robotica en chipmachines worden systemen vaak als maatwerk ontworpen, wat leidt tot hoge kosten en beperkte flexibiliteit. Door de groeiende vraag naar high-mix-low-volume-productie is snelle aanpasbaarheid en hergebruik essentieel. De uitdaging ligt in het ontwikkelen van gedeelde ontwerpmethodieken, interface-standaarden en configuratieprincipes waarmee systeemarchitecten en ontwerpers hardware- én softwarecomponenten kunnen combineren zonder telkens opnieuw volledige integratieprojecten te moeten doorlopen. Zonder deze stap blijven systemen lastig schaalbaar en blijven hoge ontwikkelkosten bestaan.

Kerntechnologie

De kern is een modulaire systeemarchitectuur waarmee fysieke en digitale bouwblokken gecontroleerd en reproduceerbaar worden samengevoegd tot nieuwe toepassingen. Hardwarematig gaat het om generieke interfaces, gestandaardiseerde grippers, optische modules, aandrijfunits en sensoren. Softwarematig draait het om modulaire libraries, uniforme communicatieprotocollen en configuratiebestanden. Dit versnelt systeemontwikkeling, bevordert hergebruik en verkort integratiecycli.

Onderliggende technologie

Het fundament bestaat uit systems engineering principes, interface-engineering en configuratiemethoden. Het ontwikkelen van mechanische, elektrische en data-interfaces vraagt

kennis van toleranties, connectiviteit en stabiliteit. Op softwaregebied zijn API-ontwerp, real-time communicatie en modulaire architecturen vereist. Validatie- en testmethodieken zijn cruciaal om prestaties in nieuwe combinaties te waarborgen. Modelgebaseerde systeemintegratie (MBSE-achtige aanpak) ondersteunt het beheer van varianten en interface-conflicten en is nodig om betrouwbaar te ontwerpen.

Activiteiten

De activiteiten zijn verdeeld over drie werkpakketten:

- (1) Ontwikkeling van generieke architecturen en interfaces en bijbehorende richtlijnen en voorbeelden;
- (2) Ontwikkeling van variatie managementmethoden, configuratieprotocollen en validatieprocedures, toegepast in industriële casussen;
- (3) Bouwen van demonstrators en verspreiden van kennis via trainingen, workshops en handleidingen.

6.5. Automatisering & additive manufacturing in het productieproces

Uitdaging

Het productieproces van mechatronische hightech-systemen is cruciaal voor verdienvermogen en werkgelegenheid. Door toenemende concurrentie staan kosten en productiviteit onder druk, waardoor digitalisering en automatisering steeds belangrijker worden. Mechatronische principes spelen een groeiende rol in de automatisering van de maakindustrie, van robots en autonome voertuigen tot geïntegreerde sensoroplossingen. Bij opkomende processen zoals Additive Manufacturing (AM) is het essentieel om ontwerp mogelijkheden volledig te benutten, terwijl de constante kwaliteit en automatisering van post-processing nog uitdagingen vormen. Ook kwaliteitscontrole vraagt om meer inzet van M&OM.

Kerntechnologie

Automatisering van productieprocessen hangt af van de integrale combinatie van mechatronische principes: het samenbrengen van actoren (zoals robots en AGV's), sensoren (zoals in-line kwaliteitsmetingen en snelle cameratechnologie) en informatiestromen uit productiemiddelen. Feedback- en feedforward-systemen zijn noodzakelijk om productie gecontroleerd te laten verlopen en bij te sturen bij afwijkingen. Realtime regeltechniek en optimale besluitvorming zijn essentieel op verschillende productieniveaus.

Onderliggende technologie

De uitdaging ligt in high-mix-low-volume-productie met een hoge automatiseringsgraad. Hiervoor zijn integrale systeemoplossingen nodig waarin sensoren, machines, robots en logistiek real-time worden aangestuurd. Datedreven workflows, directe benutting van productontwerpinformatie (feedforward) en in-line kwaliteitscontrole (feedback) zijn van belang. AI-technieken zoals machine learning en adaptive control ondersteunen dit proces. Ook autonome robotica, AM process control, post-processing, snelle vision-technologie en digital twinning dragen bij aan



verregaande automatisering. Specifiek voor AM is continue procesbeheersing en automatisering van kwaliteitscontrole en nabewerking essentieel.

Activiteiten

De activiteiten rondom automatisering van productieprocessen zullen gericht worden op die toepassingsprogramma's en groeimarkten waar productiekosten en productiviteit onder druk staan. Voor bijvoorbeeld opkomende gebieden zoals laser-satellietcommunicatie is gedeeltelijke automatisering noodzakelijk om aan groeiende marktvraag te voldoen.

6.6. Fundamentele kennis van materialen, optica, dynamica en regelsystemen

Uitdaging

Veel hightechsystemen met M&OM toepassingen opereren aan de grens van wat technisch mogelijk is met huidige optica, materialen en regeltechniek. Ze vereisen geavanceerde optische functionaliteiten, innovatieve materialen en nauwkeurige regeltechnieken, zichtbaar in lithografie en precisiepositionering. Nieuwe materialen maken extra functionaliteiten mogelijk. Strengere dynamica-eisen en mechanische beperkingen stellen hogere eisen aan deze systemen. Optische systemen met hoge numerieke apertuur verbeteren lithografieresolutie, terwijl metamaterialen lichtere mechanismen met specifieke eigenschappen zoals vibratie- of akoestische filtering mogelijk maken.

Kerntechnologie

Om te kunnen blijven voldoen aan de toenemende prestatie-eisen en functionaliteiten is aanvullend onderzoek noodzakelijk. Doorbraken zijn vereist om optische systemen met hoog contrast en hoge prestaties te realiseren. Ook zijn innovaties nodig om nieuwe functionaliteiten, zoals sensing, actuatie of mechanische functies te ontwikkelen via nieuwe materialen of materiaallengineering. Tot slot vraagt de implementatie van ultrasnelle positionerings- en bewegingssystemen om oplossingen die niet alleen snel en nauwkeurig zijn, maar ook veiligheid kunnen garanderen.

Onderliggende technologie

De kennisuitdagingen binnen dit domein zijn divers. Allereerst is diepgaande materiaalkennis noodzakelijk, met name met betrekking tot optische componenten die werken binnen niet-zichtbare golflengtebereiken. Verder spelen extreem-adaptieve, optische technologieën een cruciale rol bij de ontwikkeling van optische systemen met een hoog contrast en hoge resolutie. Het integreren van methoden uit de kunstmatige intelligentie met geavanceerde regeltechnieken is essentieel om intelligente regelsystemen te realiseren. Dit stelt systeemarchitecten in staat om fouttolerante oplossingen te ontwikkelen en een prescriptieve onderhoudsaanpak toe te passen. Tot slot moet materiaalkennis, zoals over het mechanisch gedrag en toelaatbare deformatie afhankelijk van de toepassing, ingebracht worden in (AI-) modellen om de fysieke wereld goed te modelleren en simuleren.



Activiteiten

De activiteiten zijn verdeeld over vier werkpakketten:

- (1) Ontwikkeling van geavanceerde materialen voor optische en elektromechanische componenten;
- (2) Ontwikkeling van sensor- and actuatorsystemen met extreem hoge prestaties en nauwkeurigheid;
- (3) Ontwikkeling van AI- en modelgebaseerde regeltechnieken voor robuust, zelflerende en ultrahoog presterende optomechatronische systemen;
- (4) Ontwikkeling van mechatronische fysisch-realistische modellen.

6.7. Samenwerking tussen disciplines

Uitdaging

Het voornaamste doel is het intensiveren van de samenwerking tussen (high-tech) bedrijven en kennisinstellingen. Dit moet leiden tot meer kruisbestuiving tussen deze partijen en tot een grotere verwachte valorisatie van vernieuwende technologie. De uitdaging is om middelen zo in te zetten dat kennisinstellingen hun resources niet besteden aan ontwikkelingen die in de industrie al aanwezig zijn, maar zich kunnen richten op diepgaander en vernieuwend onderzoek.

Activiteiten

Wanneer er extra financiële middelen beschikbaar worden gesteld, is het de bedoeling dat kennisinstellingen een deel van hun budget—bijvoorbeeld 10% van het projectbudget—moeten besteden aan het bedrijfsleven voor de inkoop van kennis en/of ontwikkeling. Op deze manier wordt voorkomen dat kennisinstellingen dubbel werk verrichten en kunnen zij hun inzet richten op verdergaande onderzoeksactiviteiten.

7. Ecosysteemactiviteiten

Met ecosysteemactiviteiten bedoelen we activiteiten die het functioneren van het ecosysteem als geheel bevorderen; dat wil zeggen, activiteiten die niet direct gericht zijn op het realiseren van nieuwe innovaties of producten, maar die indirect zorgen voor de juiste randvoorwaarden hiervoor. Denk hierbij aan het bevorderen van samenwerking, kennisdeling, internationalisering en dergelijke.⁵⁰

In 3.5 formuleerden we de ecosysteemambitie als: *in 2035 werkt het gehele ecosysteem goed samen. Daarvoor vindt kennisdeling en samenwerking plaats in alle fasen van het innovatieproces.* Om deze ambitie te realiseren, geven we in dit hoofdstuk allereerst een overzicht van enkele reeds bestaande samenwerkingsverbanden en hun doel, om te laten zien wat er al is. Vervolgens worden zeer gericht een aantal specifieke voorstellen tot ecosysteemactiviteiten gedaan, die aanvullend kunnen zijn op alle al bestaande initiatieven.

Nationale Werkgroep Mechatronica	Deze werkgroep is ontstaan als CFT 2.0, op het moment dat Philips het Centrum voor Fabricage Technieken niet langer als kernactiviteit zag. Voorzitterschap ligt bij ASML en wordt ondersteund vanuit het Casimir Instituut voor Future Chips en Hightech Systems van TU/e.
Mechatronica Contact Groep (MCG)	Een informele groep waarin collega's 'uit het vak' regelmatig kennis & kunde uitwisselen, oorspronkelijk binnen Philips.
Mechatronics Knowledge Exchange (MKXE)	Vergelijkbaar met de vorige groep, maar dan oorspronkelijk voor buiten Philips.
Dutch Society of Precision Engineering (DSPE)	DSPE is een onafhankelijke, professionele brancheorganisatie voor precisietechnici. DSPE publiceert een eigen vakblad, organiseert netwerkevenementen, een eigen conferentie, summer school, etc.
Mikrocentrum	Mikrocentrum is een onafhankelijke stichting die een verbindend platform vormt voor de hightech- en maakindustrie. Het organiseert 120 praktische cursussen en meerdere evenementen per jaar, deels vanaf haar eigen locatie in Veldhoven.
Brainport Industries	Brainport Industries is hét toonaangevende netwerk van hightech toeleveranciers in Nederland. Met 125 leden in de Eindhoven regio richt dit netwerk zich op samenwerking, kennisdeling en innovatie binnen de maakindustrie. Voorbeeld: de 'fabriek van de toekomst', een omgeving voor partijen om te experimenteren en testen met technieken zoals I4.0, robotisering en AI.
High Tech NL	High Tech NL jaagt innovatie aan door bedrijven en kennisinstellingen in de Nederlandse hightechsector te verbinden, met een focus op Semiconductors, Robotics, Life Sciences en Energy.
Holland High Tech (TKI HTSM)	De HTSM-activiteiten worden overzien door een zogenaamde programmaraad, waarin M&OM expliciet is vertegenwoordigd.
Innovatiecluster Drachten	Innovatiecluster Drachten is een ecosysteem van hightechbedrijven in Noord-Nederland die hoogwaardige en unieke producten ontwerpen en produceren.
TValley	TValley is een Twents hightech innovatie-ecosysteem dat bedrijven en kennisinstellingen verbindt rond sleuteltechnologieën. Het doel is versnelling van innovatie, opschaling en valorisatie in de hightech-maakindustrie.
Next Tech Food Factories	Next Tech Food Factories, de samenwerking tussen Brainport Development en AgriFood Capital, stimuleert technologische innovatie in de voedselverwerkende industrie en bevordert daarmee de implementatie van autonome systemen in deze sector

Bovenstaand laat zien dat er rondom Mechatronica & Optomechatronica (M&OM) al een

⁵⁰ T. van der Horst, "Innovatiekracht", Amsterdam University Press (2025), p. 128

sterke cohesie in Nederland bestaat met een groot aantal samenwerkingsverbanden. Deze samenwerkingsverbanden kennen vaak net een andere context, maar vanwege de goede onderlinge contacten leidt deze diversiteit vaak tot goede en intensieve connecties. Tegelijkertijd zal de governance van de actieagenda enige regie moeten pakken, in nauwe samenwerking met een aantal bestaande initiatieven, om ervoor te zorgen dat de juiste partijen betrokken zijn bij de uitvoering van de actieagenda.

Naast de bovengenoemde samenwerkingsverbanden, die bevordering van samenwerking, kennisdeling en versterking van het ecosysteem tot hoofdtaak hebben, dragen ook de kennisinstellingen (m.n. TO2s, in het bijzonder TNO, en de 4TU+RuG) en de grotere bedrijven zelf hieraan bij.

Gegeven het grote aantal initiatieven, stelt de actieagenda M&OM een paar specifieke stappen voor:

- De 4TU en Rijksuniversiteit Groningen moeten samenwerken aan een gezamenlijke M&OM labinfrastructuur (zoals NanoLabNL), grootschalige onderzoeksprogramma's in M&OM technologieën samentrekken en onderwijsprogramma's in optica, systems & control, precisietechniek en optomechanica aanbieden en/of ontwikkelen. Een landelijke graduate school voor precisietechniek en M&OM, of de inbedding daarvan in bestaande graduate schools zoals DISC en EM, kan een solide fundament in precisietechniek en M&OM voor nieuwe PhD-studenten waarborgen, als basis voor succesvolle innovatieprogramma's.
- De kennisketen van mbo, hbo en wo kan worden versterkt door het opzetten van hybride onderzoeksgroepen en gezamenlijke onderwijsprogramma's. De Leidse Instrumentmakers School staat in Nederland bekend om het opleiden van mbo-studenten in de precisietechniek, die cruciaal is voor het bouwen van geavanceerde instrumenten en hightechmachines. Daarnaast bieden diverse hbo-instellingen relevante opleidingen in precisietechniek en M&OM aan, waaronder Saxion, Hanzehogeschool, Fontys Hogeschool, de HAN en NHL Stenden. Alle 4TU-universiteiten en de Rijksuniversiteit Groningen bieden relevante onderwijsprogramma's en onderzoeksactiviteiten op het gebied van geavanceerde materialen, engineering mechanica, optica, mechatronica, optoelectronica, systems & control. Desondanks is structurele samenwerking tussen mbo, hbo en wo nog beperkt, wat de ontwikkeling van een sterke NL-kennisketen in M&OM belemmert.
- Diverse kleinere belangengroepen zouden nog wat efficiënter gekoppeld kunnen worden; dit vraagt om regie en die zou bij een neutrale instelling kunnen liggen, bijvoorbeeld Casimir Instituut. In een eerste stap zou deze neutrale instelling dan het netwerk in kaart moeten brengen en operationele connecties tot stand brengen.



8. Organisatie

Dit hoofdstuk bevat conceptuele en indicatieve informatie ten behoeve van de verdere ontwikkeling van de actieagenda. De opgenomen activiteiten, governance-structuren en financiële ramingen worden nog gevalideerd en kunnen wijzigen.

8.1. Governance

De beoogde governance structuur voor de NTS Actieagenda's is beschreven in het overkoepelende document. De specifieke invulling van deze governance-structuur voor de actieagenda Mechatronica & Optomechatronica (M&OM), inclusief personele invulling, wordt in 2026 afgerond, in nauwe samenwerking met de KIA ST.

Voor de uitvoering van de actieagenda zal een formele innovatiecoalitie worden geformeerd. De innovatiecoalitie is een vertegenwoordiging van organisaties uit het veld die gecommitteerd zijn aan de actieagenda. De innovatiecoalitie is belast met het beheren en (door)ontwikkelen van innovatieprogramma's, het beheren van andere in de actieagenda genoemde initiatieven, het creëren van zicht op en de stimulering van sleuteltechnologieontwikkeling buiten de innovatieprogramma's (inclusief EU-programmering), het adviseren over het NTS-onderwerp en de communicatie met het veld.

De werkgroep van de actieagenda is aan zet bij het formeren van de innovatiecoalitie. Tot die tijd is de werkgroep ook aansprakelijk voor de actieagenda. Tegelijkertijd zullen activiteiten op programmaniveau pas kunnen plaatsvinden op het moment dat ook programmafinanciering beschikbaar wordt gesteld. Uiteraard kunnen en zullen individuele partners wel doorgaan met de geformuleerde projecten, die in veel gevallen tot de kern van hun roadmaps behoren.

De Nationale Werkgroep Mechatronica die als klankbordgroep heeft gefungeerd bij het opstellen van de actieagenda is voorzien om dit ook in het vervolg te blijven doen. Er zal expliciete aandacht worden besteed aan het betrekken van kennisinstellingen zoals de 4TU en de hogescholen.

Hoewel de uitwerking van de actieagenda gericht is op een beperkt aantal onderwerpen, gevat in de innovatie- en verdiepingsprogramma's, omvat de scope van de actieagenda de volledige breedte van de sleuteltechnologie M&OM. De innovatiecoalitie van deze actieagenda zal zich daarom, naast de innovatieprogramma's, ook richten op de brede (door)ontwikkeling van M&OM. Dit geeft KIA ST zicht op (door)ontwikkeling buiten de innovatie- en verdiepingsprogramma's, alsook de ruimte om deze (door)ontwikkeling in enige mate te stimuleren en contact te houden met alle partijen die innoveren op het gebied van M&OM.



8.2. Financieringsbehoefte

Samenvatting van de financieringsbehoefte, in € mln:

Activiteit	Privaat	Publiek	Totaal
Chipmachines	27	27	54
Laser satellietcommunicatie	27	40	67
Geavanceerde instrumentatie	11,4	18,6	30
Robotica	16	16	32
Voedselverwerking	30,5	30,5	61
Autonome systemen	23	26	49
Aardobservatie	27	53	80
Verdiepingsprogramma	35	65	100
Totaal	196,9	276,1	473

Colofon

Auteurs:

Ton Peijnenburg (VDL-ETG), Gregor van Baars (TNO) Joost Bolder (ASML), Bayu Jayawardhana (Rijksuniversiteit Groningen), Roy de Kinkelder (Saxion), Lisanne van Oosterhoud (Brainport Development), Ron Oren (TNO), Bas Steendam (TNO), Ronald Timmermans (MI-Partners)

Bij de totstandkoming van dit stuk is gebruik gemaakt van kunstmatige intelligentie voor redactionele doeleinden. De eindredactie is op verantwoordelijkheid van de genoemde auteurs.

Onderstaande organisaties hebben alvast expliciet steun aan deze actieagenda uitgesproken:





