



Inhoud Bijlage Hoofdstuk 5 – PPS-en

1. Optische communicatie – FREE 2.0	2
2. Defensie & dual use: sensoren en vision	7
3. Plantgezondheid en plantengroei	12
4. Emissies en biodiversiteit	17
5. Voedselverwerking	23
6. Lichttechnieken voor dierenwelzijn	28
7. Structural and molecular imaging	36
8. Wearables	42
9. Retinal imaging	46
10. Med-IPUT – PICs voor ultrasound imaging	50
11. Advanced laser sources on chip	54
12. Teratom	59
13. Quantum optiek: Sensors testbed	64
14. Pioneer	68
15. H2 sensing	72
16. Innovatieve PVA voor satellietconstellaties	77
17. Remote sensing	80
18. Lighting the Future - for People and Planet	85
19. Autonome systemen	89
20. OSIP Onderzoek PPS – Computational Optics	95
21. OSIP Onderzoek PPS – Optische systemen KI	98
22. OSIP Onderzoek PPS – New optical components	100
23. OSIP Onderzoek PPS – New Optical Designs	105
24. OSIP Onderzoek PPS – Future sources	108
25. OSIP Onderzoek PPS – Optical Sensor Technology	112
26. Integrated Photonics: Heterogeneous Integration and platforms	116
27. Integrated Photonics: Advanced packaging and rapid prototyping	120
28. Integrated Photonics: Standardisation	123
29. Integrated Photonics: Testing and Metrology	128
30. Integrated Photonics: Defense, security and space	134
31. Integrated Photonics: nxtgen digital technologies	139

Organisatienamen in dit document zijn betrokken, of nog te betrekken organisaties.

1. Optische communicatie – FREE 2.0

1.1. Doel project

Het programma ontwikkelt nieuwe technologie voor draadloze datacommunicatie op basis van vrij-ruimte optische verbindingen. Door gebruik te maken van licht in plaats van radiogolven wordt een veel hogere capaciteit, lagere latentie en betere beveiliging bereikt. Het doel is een geïntegreerd netwerk te realiseren waarin satellieten, grondstations en gebruikerssystemen naadloos samenwerken. De technologie legt de basis voor de volgende generatie energiezuinige, veilige en snelle communicatiesystemen voor toepassingen op aarde en in de ruimte.

1.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

De groeiende digitale samenleving vraagt om razendsnelle, veilige en betrouwbare verbindingen voor data-intensieve toepassingen zoals cloud computing, 5G en satellietcommunicatie. Radiofrequentietechnologie bereikt zijn fysieke en spectrumbandbreedtegrenzen, waardoor nieuwe oplossingen nodig zijn. Vrije-ruimte optische communicatie biedt een antwoord door het gebruik van licht, met een vrijwel onbeperkte bandbreedte, lage energiebehoefte en hoge beveiliging. Daarnaast stimuleren Europese en nationale beleidsagenda's op het gebied van fotonica, quantumtechnologie en digitale infrastructuur de ontwikkeling van dergelijke sleuteltechnologieën. De beoogde innovatie sluit aan bij maatschappelijke behoeften aan connectiviteit, klimaatbewuste technologie en digitale autonomie.

1.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

Het programma onderzoekt fundamentele en toegepaste kennisvragen die essentieel zijn voor betrouwbare en schaalbare vrij-ruimte optische communicatie. Centraal staan vragen over hoe lichtsignalen zich gedragen in turbulente atmosferische omstandigheden en hoe deze verstoringen actief kunnen worden gecorrigeerd. Verder wordt onderzocht hoe atmosferische verstoringen, uitlijning, signaal ruisverhouding, verhoging van de maximale bandbreedte, miniaturisatie en kosten beperking geoptimaliseerd kunnen worden.

Op systeemniveau richt het onderzoek zich op protocollen en architecturen die optische links kunnen integreren met bestaande netwerken, inclusief veilige sleuteluitwisseling en adaptieve routing. Daarnaast worden methoden ontwikkeld om meerdere lichtbundels gelijktijdig te beheren, zodat communicatie robuust blijft onder variabele omstandigheden. De kennisvragen beslaan dus zowel de fysische basis (optische kanalen en turbulentie) als de technologische integratie van deze nieuwe communicatielaag.

1.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

Vrije-ruimte optische communicatie biedt een structurele sprong in draadloze capaciteit en vormt daarmee een nieuwe groeimotor voor de Nederlandse hightechindustrie. De technologie maakt verbindingen mogelijk die 10 tot 100 keer meer data transporteren dan huidige radiofrequentiesystemen, met lager energieverbruik en zonder afhankelijkheid van schaars spectrum. Dit opent marktkansen in datacenters, 5G- en 6G-netwerken, satellietcommunicatie, en ruimtevaarttoepassingen. Nederlandse bedrijven in fotonica, quantumtechnologie en systeemintegratie profiteren direct van deze doorbraak. Op maatschappelijk vlak draagt het programma bij aan veilige, energiezuinige en betrouwbare digitale infrastructuren die essentieel zijn voor mobiliteit, zorg, onderwijs en defensie. De technologie ondersteunt ook toepassingen in rampenrespons en ruimtelijke monitoring, waar snelle en autonome communicatie cruciaal is. Het programma sluit nauw aan bij het groeifonds programma NXTGEN hightech en PhotonDelta, de actieagenda quantum en de Kennis- en Innovatieagenda Sleuteltechnologieën (HTSM). Door deze aansluiting versterkt FREE zowel het nationale verdienvermogen als de bijdrage aan Europese missies rond digitale soevereiniteit en duurzame connectiviteit.

1.5. Aanpak

Het programma **FREE 2.0 – Optical Wireless Superhighways: Free Photons (at Home and in Space)** realiseert een geïntegreerde onderzoeks- en ontwikkelroute voor vrije-ruimte optische communicatie (FSO) als sleuteltechnologie voor de volgende generatie draadloze netwerken. De looptijd bedraagt vier jaar (2027-2031) en combineert fundamenteel en toegepast onderzoek met demonstratieprojecten en kennisvalorisatie. De uitvoering vindt plaats in een consortium van meerdere universiteiten, TNO en diverse industriële partners. De aanpak is modulair opgebouwd in **vijf onderling samenhangende werkpakketten** die samen de hele keten van fysica tot toepassing bestrijken:

WP1 – Optische kanalen

Richt zich op het begrijpen en modelleren van atmosferische en ruimtelijke verstoringen in vrije-ruimte optische paden. Dit omvat experimenten en simulaties van turbulentie, adaptieve correcties en coderingstechnieken voor betrouwbare transmissie.

WP2 – Zend- en ontvangstechnologie

Ontwikkelt nieuwe componenten en concepten voor efficiënte signaaloverdracht, waaronder niet-mechanische beam steering, breedbandontvangers en ultragevoelige fotondetectoren. Hier worden laboratoriumopstellingen vertaald naar schaalbare prototypes.

WP3 – Netwerkfunctionaliteit

Onderzoekt protocollen, routingstrategieën en sleuteluitwisseling voor veilige en adaptieve netwerken. De nadruk ligt op de integratie van optische verbindingen met bestaande 5G- en satellietinfrastructuren.

WP4 – Systeemintegratie en modellering

Combineert de resultaten uit de eerdere werkpakketten tot samenhangende systeemarchitecturen. Ontwikkelt multi-beam terminals en thermomechanische modellen voor robuuste operationele systemen.

WP5 – Demonstratie en valorisatie

Test en demonstreert de ontwikkelde technologie in praktijksituaties, zoals draadloze verbindingen tussen gebouwen, drones, satellieten en deep-space platforms. Het werkpakket ondersteunt ook kennisoverdracht, IP-management en industrialisatie. De werkpakketten worden in samenhang uitgevoerd: fundamentele inzichten uit WP1 en WP2 voeden WP3 en WP4, terwijl WP5 zorgt voor terugkoppeling vanuit toepassing en markt. De programmaleiding wordt gevormd door een stuurgroep met vertegenwoordigers van universiteiten, TNO en industrie, ondersteund door een programmamanager en een business developer.

Het programma is ontworpen als een doorlopende leerlijn van kennisontwikkeling naar systeemdemonstratie en marktimplementatie. Door samenwerking tussen wetenschap, technologie en industrie bevordert FREE 2.0 een duurzame versterking van de Nederlandse positie in optische communicatie en fotonica.

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd							2033	2034	2035
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032			
1. Optische signalen	1,4		x								
2. Zend- en ontvangsttechnologie	1,4			x							
3. Netwerkfunctionaliteit	1,4				x						
4. Systeemintegratie en modellering	1,4					x					
5. Demonstratie en valorisatie	1,4						x				

1.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
1. Optische signalen	1,4	1	0,4
2. Zend- en ontvangstechnologie	1,4	1	0,4
3. Netwerkfunctionaliteit	1,4	1	0,4
4. Systeemintegratie en modellering	1,4	1	0,4
5. Demonstratie en valorisatie	1,4	1	0,4
Programma Totaal	7	5	2

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4					2
Nieuwe activiteiten /nieuwe middelen		1	1	1	1	1					5
Totaal		1,4	1,4	1,4	1,4	1,4					7

1.7. Consortium

Het FREE 2.0 programma is een vervolg op het zojuist afgeronde FREE programma en wordt uitgevoerd door (hetzelfde) landelijk consortium van kennisinstellingen, bedrijven en maatschappelijke partners binnen het kader van het **NWO-TTW Perspectiefprogramma**. De academische kern bestaat uit vijf universiteiten:

- **Technische Universiteit Delft (TU Delft)** – coördinatie, systeemarchitectuur en ruimtevaarttoepassingen



- **Technische Universiteit Eindhoven (TU/e)** – optische transmissietechnologie, netwerkimtegratie
- **Universiteit Twente (UT)** – nanofotonica, detectietechnologie en on-chip integratie
- **Universiteit Leiden (UL)** – fundamenteel optisch en kwantumonderzoek
- **Vrije Universiteit Amsterdam (VU)** – signaalverwerking en datanetwerken

Onderzoeksorganisatie **TNO** vervult een centrale rol in valorisatie en industrialisatie van resultaten richting de markt.

De betrokken **bedrijven en gebruikersorganisaties** vertegenwoordigen de gehele waardeketen van optische en draadloze technologie:

- **Airbus, ISISpace, NLR** – ruimtevaarttoepassingen en satellietcommunicatie
- **Signify, Aircision, Effect Photonics, Lionix, Phix, Quix Quantum** – fotonica, halfgeleider- en netwerkcomponenten
- **Demcon, S&T, Hyperion Technologies** – systeemontwikkeling en integratie
- **Single Quantum** – geavanceerde fotondetectoren

Daarnaast participeren **overheden en kennisinstellingen** als adviseur en afnemer van kennis, waaronder **de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO)**, het **Ministerie van EZK**, het **Ministerie van Defensie** en diverse regionale ontwikkelingsmaatschappijen. Samen bestrijken deze partijen de volledige innovatieketen: van fundamenteel onderzoek en technologische ontwikkeling tot validatie, demonstratie en economische valorisatie, met sterke koppelingen naar de nationale agenda's voor Fotonica, Quantumtechnologie en Digitale Infrastructuur.

2. Defensie & dual use: sensoren en vision

2.1. Doel project

Het programma richt zich op de ontwikkeling van geavanceerde fotonicatechnologieën die de strategische autonomie en veiligheid van Nederland en Europa versterken. Centraal staat de inzet van geïntegreerde en robuuste optische systemen voor defensie, veiligheid en ruimtevaart. De focus ligt op het ontwikkelen van quantumveilige communicatie, hooggevoelige sensoren, directed-energy-toepassingen en photonic integrated circuits (PIC's) die compacte, energiezuinige en kostenefficiënte oplossingen mogelijk maken. Het doel is om een schaalbare, Europese productie- en kennisbasis te realiseren die dual-use technologieën voortbrengt voor zowel militaire als civiele toepassingen.

2.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

De urgentie wordt gedreven door geopolitieke spanningen en de noodzaak tot versterking van technologische soevereiniteit. Recente conflicten hebben de kwetsbaarheid van Europese supply chains blootgelegd en het belang van onafhankelijke toegang tot kritieke technologieën vergroot. Tegelijkertijd ontstaan nieuwe dreigingen zoals drones, cyberaanvallen en CBRN-risico's die snelle innovatie vereisen. Economisch biedt dit programma kansen voor Europese industrieën door dual-use innovatie, marktversnelling en versterking van het verdienvermogen binnen de fotonica-sector. Technologisch sluit het aan bij de ontwikkeling van quantum- en optische technologieën die essentieel zijn voor de volgende generatie communicatiesystemen en sensoren.

2.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

Het programma adresseert kennisvragen rond:

- Integratie van fotonica in robuuste, geminiaturiseerde systemen (SWaP-C-reductie);
- Ontwikkeling van quantumveilige communicatie (QKD, free-space links);
- Ontwerp van hyperspectrale, thermische en LIDAR-sensoren voor situational awareness;
- Bescherming tegen optische en laser-dreigingen;
- Ontwikkeling van quantum sensoren en klokken voor GPS-onafhankelijke navigatie;
- Betrouwbare productieprocessen en testomgevingen voor kritische componenten.

2.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

De PPS versterkt het Nederlandse en Europese verdienvermogen en draagt bij aan maatschappelijke weerbaarheid door fotonica en quantumtechnologie gericht te ontwikkelen voor defensie, veiligheid en ruimtevaart. De belangrijkste bijdragen zijn:

Economisch en industrieel verdienvermogen

- **Verankering van de Europese productiecapaciteit** voor kritische fotonica-componenten, door een complete Nederlandse waardeketen van ontwerp tot systeemintegratie op te bouwen.
- **Vermindering van afhankelijkheid van niet-EU leveranciers**, wat technologische soevereiniteit en leveringszekerheid versterkt.
- **Groei van de Nederlandse fotonica-industrie**, die nu circa 2 000 directe banen en € 1,5 mld omzet vertegenwoordigt, met een verwachte groei van 15–20 % per jaar.
- **Nieuwe exportkansen** voor mkb en systeemhuizen via dual-use technologieën die zowel in defensie als in civiele sectoren (telecom, luchtvaart, infrastructuur) toepasbaar zijn.
- **Verwachte additionele marktwaarde** van € 300–500 mln binnen vijf tot zeven jaar, ondersteund door Europese programma's zoals het EDF, Horizon Europe en de Chips Act.

Maatschappelijke impact

- **Bijdrage aan strategische autonomie en veiligheid**, in lijn met de missie *Veiligheid en Vrijheid in Europa en daarbuiten* (KIA Veiligheid).
- **Toepassing van energie-efficiënte fotonische systemen** binnen de missie *Naar een klimaatneutrale en circulaire economie* (KIA Energie & Duurzame Mobiliteit), onder meer voor monitoring, mobiliteit en infrastructuur.
- **Ondersteuning van crisisrespons en bescherming van kritieke infrastructuur**, aansluitend bij de missie *Een gezonde en veilige samenleving* (KIA Gezondheid & Zorg).
- **Versnelling van innovatie in dual-use technologieën**, waarmee civiele en militaire toepassingen elkaar versterken.
- **Versterking van Europese samenwerking** via aansluiting op bestaande OSIP-initiatieven, de KIA Sleuteltechnologieën en programma's als Horizon Europe en het European Defence Fund.

Koppeling met innovatieprogramma's

- **Chips Act** – aansluiting bij de Europese pilot lines voor geïntegreerde fotonica, gericht op opschaling van productie, kwaliteitsborging en leveringszekerheid van kritieke componenten binnen de EU.
- **Horizon Europe Quantum Flagship** – samenwerking op het gebied van quantum photonic integrated circuits (Quantum PICs) voor communicatie, sensing en positionering. De PPS benut kennis uit deze programma's om dual-use demonstrators te realiseren.
- **EDA CapTech Optronics** – afstemming met Europese defensieprogramma's rond sensortechnologie, laserbescherming en optische detectie, met het doel interoperabiliteit tussen civiele en militaire systemen te vergroten.



- **European Defence Fund (EDF)** – koppeling met Europese projecten op het gebied van quantumveiligheid, situational awareness en sensorfusion, inclusief deelname aan gezamenlijke demonstrators en testfaciliteiten.

2.5. Aanpak

WP1 – Beveiligde communicatie

Ontwikkeling van quantumveilige netwerken, Quantum Key Distribution (QKD) en optische free-space links voor veilige datatransmissie in militaire en civiele omgevingen. De eerste fase richt zich op technologieontwikkeling; daarna volgen demonstraties in operationele netwerken.

WP2 – Geavanceerde sensoren

Innovatie in multi- en hyperspectrale, thermische en LIDAR-sensoren voor surveillance, verkenning en CBRN-detectie. De nadruk ligt op sensorfusie, miniaturisatie en inzet in mobiele of onbemande platforms voor situationeel bewustzijn.

WP3 – Directed Energy en tegenmaatregelen

Onderzoek naar lasergebaseerde systemen voor anti-drone, sensorbescherming en ruimteafval volg- en verwijdering. Activiteiten omvatten ontwerp, prototyping en tests onder realistische omstandigheden, gericht op detectie en neutralisatie van optische dreigingen.

WP4 – Photonic Integrated Circuits (PIC's)

Ontwikkeling en integratie van PIC's voor reductie van omvang, gewicht, energieverbruik en kosten (SWaP-C). Dit werkpakket sluit aan bij Europese pilot lines in het kader van de Chips Act en richt zich op schaalbare productie en integratie in sensoren en communicatiesystemen.

WP5 – Quantumtechnologieën

Ontwikkeling van quantum sensoren en klokken voor GPS-onafhankelijke navigatie en detectie. De activiteiten bouwen voort op resultaten van het Horizon Europe Quantum Flagship en QuTech, met validatie in relevante toepassingsomgevingen.

WP6 – Robuuste componenten en systemen

Ontwikkeling van optische en fotonische componenten die bestand zijn tegen zware omstandigheden zoals temperatuur, trillingen en straling. Validatie vindt plaats in samenwerking met de ruimtevaart- en defensiesector om betrouwbaarheid en levensduur te garanderen.

Andere onderwerpen die mogelijk later toegevoegd worden zijn in-orbit servicing en 3d printing van optische componenten in de ruimte. De werkpakketten worden parallel

uitgevoerd binnen een looptijd van circa acht jaar, met drie hoofdfasen: (1) technologieontwikkeling, (2) integratie en demonstratie, en (3) validatie en opschaling. Coördinatie vindt plaats via een gezamenlijke stuurgroep van industrie, kennisinstellingen en overheid, die toeziet op synergie tussen werkpakketten en aansluiting bij Europese initiatieven zoals EDF en EDA CapTech Optronics. Ook wordt onderzocht hoe de EU space act calls een uitkomst kunnen bieden.

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1. Beveiligde communicatie	3.5	x	x	x	x						
2. Geavanceerde sensoren	4	x	x	x	x	x					
3. Directed energie en tegenmaatregelen	2.5		x	x	x	x	x				
4. Photonic integrated circuits	4.5	x	x	x	x	x	x	x			
5. Quantumtechnologieën	2.5			x	x	x	x	x	x		
6. Robuuste componenten en systemen	3		x	x	x	x	x	x	x		

2.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
1. Beveiligde communicatie	3.5	1.75	1.75
2. Geavanceerde sensoren	4	2	2
3. Directed energie en tegenmaatregelen	2.5	1.25	1.25
4. Photonic integrated circuits	4.5	2.25	2.25
5. Quantumtechnologieën	2.5	1.25	1.25
6. Robuuste componenten en systemen	3	1.5	1.5

Programma Totaal	20	10	10
-------------------------	----	----	----

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen	0,5	1	1	1	1	1,5	1,5	1	1	0,5	10
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen	0,5	1	1	1	1	1,5	1,5	1	1	0,5	10
Totaal	1	2	2	2	2	3	3	2	2	1	20

2.7. Consortium

- **Bedrijven:** Thales Nederland, TNO, Demcon, LioniX International, SMART Photonics, Technobis, Nedinsco, Single Quantum, Effect Photonics, Quix Quantum, VanderSat, Optics11
- **Kennisinstellingen:** TU Delft, TU Eindhoven, Universiteit Twente, QuTech, VSL, NLR
- **Overheid:** Ministerie van Defensie, Europese Commissie, EDA, ESA
- **Overige:** PhotonDelta, EPIC, Holland High Tech, Europese Defensie Fund (EDF)

Apart merken we op dat we 0,5 mlnE kosten aanvullend willen reserveren voor missies, te organiseren tussen het OSIP-ecosysteem, het Ministerie van Defensie en EZ. Deze kosten kunnen alleen publiek worden gefinancierd.

3. Plantgezondheid en plantengroei

3.1. Doel project

Het programma richt zich op de ontwikkeling van optische en fotonische technologieën die de gezondheid, groei en kwaliteit van planten continu en nauwkeurig kunnen monitoren en beïnvloeden. Door het combineren van verschillende meetprincipes, waaronder optische, spectrale en elektromagnetische detectie, worden sensoren en beeldvormingssystemen ontwikkeld die vroegtijdig signalen van stress, ziekte of aantasting in planten herkennen. Deze informatie vormt de basis voor gerichte bijsturing van teeltomstandigheden.

Daarnaast worden nieuwe lichtstrategieën ontwikkeld waarmee plantengroei, fotosynthese en houdbaarheid optimaal kunnen worden gestuurd, zowel tijdens de teelt als in de opslagfase. Door deze lichtrecepten dynamisch aan te passen aan de behoefte van het gewas kan de productiviteit worden verhoogd en het gebruik van energie, water en gewasbeschermingsmiddelen worden verminderd.

Het beoogde resultaat is een geïntegreerde technologische basis waarmee plantgezondheid, groei en kwaliteit meetbaar en stuurbaar worden. Zo draagt het programma bij aan een datagedreven, duurzame en emissiearme voedselproductie.

3.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

Maatschappelijke drijfveren

De Nederlandse land- en tuinbouwsector staat voor de opgave om de productie te verduurzamen en tegelijk de kwaliteit en opbrengst van gewassen te behouden.

Klimaatverandering, strengere milieuregels en de wens om chemische gewasbescherming en kunstmestgebruik terug te dringen vragen om teeltsystemen die plantgezondheid actief volgen en sturen. Betrouwbare en continue monitoring van groei en stressreacties maakt het mogelijk om teelten energiezuiniger, gezonder en minder belastend voor het milieu te maken. Daarnaast sluit de ontwikkeling aan bij de internationale behoefte aan efficiënte en veerkrachtige voedselproductie in een context van beperkte hulpbronnen.

Economische drijfveren

De agri-foodsector is een pijler van de Nederlandse economie en exportpositie. Om die rol te behouden moet de sector zich onderscheiden met hoogwaardige technologie. Investeren in optische en fotonische meetmethoden versterkt het verdienvermogen van Nederlandse bedrijven in sensortechnologie, verlichtingssystemen en datagedreven teeltoplossingen. Door innovaties sneller naar de markt te brengen ontstaat groei in kennisexport en nieuwe bedrijvigheid binnen de waardeketen van hightech landbouwsystemen.

Technologische drijfveren

Snelle vooruitgang in optica, fotonica en spectrale meettechnieken maakt het mogelijk om subtiele veranderingen in planten vroegtijdig en nauwkeurig waar te nemen. Nieuwe

sensoren, lichtbronnen en beeldvormingssystemen bieden een hogere gevoeligheid en betrouwbaarheid, terwijl ze kleiner, energiezuiniger en betaalbaarder worden. Deze ontwikkelingen maken continue monitoring van plantgezondheid, fotosynthese en groei binnen teeltsystemen haalbaar zonder fysieke contactmetingen.

Daarnaast zorgen verbeteringen in lichttechnologie voor nieuwe mogelijkheden om de groei en kwaliteit van gewassen actief te beïnvloeden. Door de spectrale samenstelling en intensiteit van licht gericht aan te passen aan de behoefte van het gewas, kunnen opbrengst, voedingswaarde en houdbaarheid worden geoptimaliseerd met minder energieverbruik. De combinatie van deze innovaties creëert een technologische basis voor preciseteelt waarin metingen en aansturing samenkomen in geïntegreerde, schaalbare systemen.

3.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

- Hoe beïnvloeden verschillende spectrale samenstellingen en lichtintensiteiten de groei, fotosynthese, stressreacties en houdbaarheid van planten?
- Welke optische signalen geven vroegtijdig informatie over ziekte, aantasting of fysiologische stress?
- Hoe kunnen optische en elektromagnetische sensoren worden gecombineerd tot stabiele en betaalbare meetsystemen die geschikt zijn voor teeltomgevingen?
- Welke spectrale en ruimtelijke resolutie is nodig om subtiele veranderingen in plantweefsel betrouwbaar te detecteren?
- Hoe kunnen meetgegevens worden vertaald naar bruikbare stuurvariabelen voor belichting, irrigatie of klimaatregeling?
- Hoe kunnen deze sensoren en lichtstrategieën worden gevalideerd in praktijksituaties met verschillende gewassen en teeltcondities?

3.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

Het programma versterkt het verdienvermogen van de Nederlandse agri-foodsector door nieuwe technologie te ontwikkelen die internationaal toepasbaar is in glastuinbouw, vertical farming en precisielandbouw. De mondiale markt voor fotonische sensoren en geavanceerde verlichtingssystemen groeit naar verwachting met meer dan 10% per jaar. Nederlandse bedrijven, kennisinstellingen en toeleveranciers kunnen met deze PPS hun leidende positie op het gebied van geïntegreerde sensortechnologie, spectrale belichting en teeltoptimalisatie verder uitbouwen. De resultaten leveren directe kansen op voor productontwikkeling, licenties, export van kennis en systeemintegratie, met economische spin-off voor machinebouwers, verlichtingsproducenten en technologiebedrijven in de keten. De maatschappelijke impact ligt in de bijdrage aan duurzame en efficiënte voedselproductie. Door vroegtijdige detectie van ziekten en stress kan het gebruik van chemische

gewasbescherming met tientallen procenten worden verminderd, wat leidt tot lagere milieubelasting en gezonder voedsel. Dynamische lichtstrategieën en nauwkeurige groeiregulatie maken een beter energiegebruik mogelijk en verhogen de opbrengst per vierkante meter. Dit ondersteunt de nationale en Europese doelstellingen voor klimaatneutraliteit en circulaire landbouw.

3.5. Aanpak

Het programma heeft een looptijd van acht jaar en richt zich op de ontwikkeling van fotonische technologieën voor gezonde, efficiënte en duurzame plantproductie. De aanpak bestaat uit drie onderling verbonden werkpakketten die elk een specifieke technologische pijler vertegenwoordigen, maar gezamenlijk worden ontwikkeld, geïntegreerd en gevalideerd in praktijkomgevingen.

WP1: Early Disease Detection 2.0

Dit werkpakket is een vervolg op *The Detectable Vegetable* en bouwt voort op de kennis die daarin is opgedaan over optische ziektherkenning in gewassen. De focus ligt op het ontwikkelen van multimodale sensoren die optische en elektromagnetische signalen combineren om schimmels, virussen en fysiologische stress vroegtijdig te detecteren. Er wordt gewerkt aan het koppelen van spectrale kenmerken aan plantgezondheid, het ontwikkelen van geïntegreerde meetmodules en het testen van prototypes in kassen en verwerkingsomgevingen. De resultaten worden gevalideerd in samenwerking met telers en verwerkers, met als doel praktische inzetbaarheid in de teeltketen.

WP2: Light Recipes for Growth and Storage

In dit werkpakket worden dynamische lichtstrategieën ontwikkeld om groei, fotosynthese, productkwaliteit en houdbaarheid van voedselgewassen te optimaliseren. Onderzocht wordt hoe de spectrale samenstelling, intensiteit en timing van licht de fysiologische processen van planten beïnvloeden, zowel tijdens teelt als opslag. De kennis wordt vertaald naar concrete lichtrecepten en adaptieve verlichtingssystemen. Validatie vindt plaats in kasomgevingen en opslagfaciliteiten, waarbij wordt samengewerkt met verlichtingsproducenten en kennisinstellingen.

WP3: Pest Monitoring and Control

Dit werkpakket richt zich op de ontwikkeling van lasergebaseerde detectie en bestrijding van plaaginsecten met behulp van ultrahogesnelheidsbeeldvorming. Er worden nieuwe event-based camera's ontwikkeld die snelle insectenbewegingen kunnen herkennen en volgen. De technologie wordt getest in laboratorium- en kasomgevingen en geëvalueerd op effectiviteit, selectiviteit en energieverbruik.

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd							2033	2034	2035
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032			
1.Early Disease detection 2.0	2,5		x	x	x	x	x				
2. Light recipes for growth and storage	2,5		x	x	x	x	x				
3.Pest monitoring and control	2,5		x	x	x	x	x				

3.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
1.Plantgezondheid en plantengroei	2.5	1.25	1.25
2. Emissies en biodiversiteit	2.5	1.25	1.25
3. Voedselverwerking	2.5	1.25	1.25
Programma Totaal	7.5	3.75	3.75

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75					3,75

bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75					3,75
Totaal		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5					7,5

3.7. Consortium

Kennisinstellingen

- Hogeschool van Amsterdam (HvA) – toegepast onderzoek naar sensorintegratie en dataverwerking
- Hogeschool van Den Haag (HHS) – coördinatie binnen praktijkgericht onderzoek, ontwikkeling van prototypes
- HAS Green Academy – onderzoek naar plantfysiologie, teeltproeven en lichtstrategieën
- Wageningen University & Research (WUR) – wetenschappelijke onderbouwing, validatie van meetsystemen en fysiologische modellering
- Universiteit Maastricht (UM) – onderzoek naar opslag, productkwaliteit en houdbaarheid

Bedrijven

- Signify – ontwikkeling van dynamische lichtsystemen en spectrale belichting
- Sendot – sensortechnologie, optische en fotonische meetmodules
- Greefa – industriële integratie, post-harvest toepassingen en verwerkingslijnen

Overige betrokken partijen

- Tuinders en praktijklocaties (onder meer via Glastuinbouw Nederland en regionale field labs) – validatie en demonstratie
- Regionale ontwikkelingsmaatschappijen en brancheorganisaties – cofinanciering, verspreiding van resultaten en valorisatie

4. Emissies en biodiversiteit

4.1. Doel project

Het programma richt zich op de ontwikkeling van optische en fotonische technologieën voor het meten en monitoren van emissies, residuen en biodiversiteit in de landbouw- en leefomgeving. Het technologische doel is het realiseren van nieuwe sensoren en meetsystemen die real-time, nauwkeurig en schaalbaar gegevens leveren over stikstofemissies, broeikasgassen, chemische residuen en biodiversiteit.

De PPS beoogt vier technologische doorbraken:

- ontwikkeling geïntegreerde fotonische sensoren voor directe emissiemeting op het erf en in stallen, gebaseerd op tunable diode laser absorption spectroscopy (TDLAS).
- real-time detectie van pesticidenresiduen in voedsel, water en bodem via geavanceerde optische en chemische sensortechnieken.
- toepassing van optische beeldvorming en robotica voor kwantitatieve monitoring van biodiversiteit in agrarische en natuurlijke ecosystemen.
- Toepassing van fotonische sensoren in precisie landbouw, voor vroege detectie en bestrijding van plagen en verminderen gebruik van meststoffen en pesticiden.

Het programma brengt kennisinstellingen, bedrijven en overheden samen om deze technologieën te ontwikkelen, te valideren en te implementeren in praktijkomgevingen. Het uiteindelijke doel is een samenhangend systeem van sensoren en analysemethoden waarmee emissies en biodiversiteit continu kunnen worden gevolgd en beheerd. Daarmee ontstaat een technologische basis voor duurzaam landgebruik, emissiereductie en herstel van biodiversiteit in Nederland.

4.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

Maatschappelijke drijfveren

Nederland staat voor de opgave om de uitstoot van stikstof, ammoniak en broeikasgassen drastisch te verminderen, conform nationale en Europese klimaatdoelen. Tegelijk groeit de urgentie om biodiversiteit te herstellen en de effecten van landbouw op bodem en water te beperken. De huidige meetmethoden zijn kostbaar, traag en vaak niet geschikt voor continue monitoring. Nieuwe fotonische sensortechnologie maakt het mogelijk om emissies en milieukwaliteit direct, lokaal en in real time te meten, wat cruciaal is voor effectief beleid, handhaving en herstel van ecosystemen.

Economische drijfveren

De agrarische sector en overheden hebben behoefte aan betrouwbare data om emissiereductie en duurzaam landgebruik aantoonbaar te maken. Nieuwe meetsystemen

creëren een markt voor sensoren, data-analyse en integratiediensten, waarin Nederland door zijn sterke kennispositie en bedrijsvennetwerk (PhotonDelta, WUR, OnePlanet, hightech-MKB) internationaal kan uitblinken. Door de technologie te verankeren in agrifood- en milieumetingssystemen versterkt Nederland zijn positie als exporteur van kennis en hightech oplossingen voor emissie- en biodiversiteitsmonitoring. Ook wordt het mogelijk de systemen in precisielandbouw te integreren waardoor minder meststoffen en pesticiden nodig zijn.

Technologische drijfveren

Voor de reductie- en biodiversiteitsopgave zijn nieuwe generaties sensoren nodig: compacte, gevoelige en onderhoudsarme systemen die stikstofverbindingen, broeikasgassen, pesticiden en biologische signalen gelijktijdig kunnen meten. Doorbraken in geïntegreerde fotonica, laserabsorptiespectroscopie en optische beeldvorming maken deze stap nu mogelijk. De ontwikkeling van open-path gasdetectie, residu-analysesensoren en optische biodiversiteitsmetingen vormt een noodzakelijke technologische vernieuwing om emissies en ecologische effecten op een fijnmazig en betrouwbaar niveau te volgen.

4.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

- Hoe kunnen PIC-geïntegreerde TDLAS-sensoren worden toegepast in stallen en op erven om emissies van stikstof en broeikasgassen continu te volgen en directe terugkoppeling te geven aan managementsystemen?
- Hoe kunnen optische residusensoren worden geïntegreerd in waterzuiveringsinstallaties of post-harvestlijnen om realtime monitoring van gewasbeschermingsmiddelen mogelijk te maken en overschrijdingen te voorkomen?
- Hoe kunnen biodiversiteitssensoren en mobiele platforms (bijv. drones of veldrobots) worden ingezet om trends in insecten- en plantendiversiteit automatisch te detecteren in agrarische en natuurgebieden?
- Hoe kunnen data uit emissie-, residu- en biodiversiteitssensoren worden gecombineerd tot besluitondersteuning voor beleid, certificering en gebiedsbeheer?
- Hoe kunnen de ontwikkelde sensoren worden opgeschaald en gestandaardiseerd voor betrouwbare toepassing in verschillende klimaatzones en landbouwsystemen?

4.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

Verdienvermogen

Het programma versterkt het Nederlandse verdienvermogen door ontwikkeling van realtime detectie van pesticideresiduen, PIC-geïntegreerde TDLAS-gassensoren voor stikstof- en broeikasgasemissies, en optische biodiversiteitssensoren. De verwachte totale markt voor milieumonitoring in landbouw en waterbeheer groeit naar ruim 2 miljard euro per jaar in Europa tegen 2030. Voor Nederland ligt de potentiële omzet van deze technologieën op 10–20 miljoen euro per jaar binnen vijf jaar na marktintroductie, oplopend tot circa 50 miljoen

bij internationale opschaling. De PPS levert directe economische waarde via nieuwe productlijnen, sensormodules en datadiensten. Naar verwachting ontstaan 50–100 hoogwaardige arbeidsplaatsen bij technologiebedrijven, systeemintegratoren en kennispartners. De PPS versterkt bovendien de positie van PhotonDelta en het OnePlanet-ecosysteem door toepassing van geïntegreerde fotonica in nieuwe markten buiten de halfgeleidersector.

Maatschappelijke uitdagingen

De technologie draagt bij emissiereductie, voedselveiligheid en biodiversiteitsherstel. Met PIC-geïntegreerde open-path gassensoren kunnen stikstofverbindingen en broeikasgassen continu worden gemonitord, wat naar verwachting direct 10–30 procent emissiereductie per bedrijf mogelijk maakt door preciezere sturing van voer, ventilatie en mestmanagement. Real-time detectie van residuen in water en voedselstromen verkort analysetijden van dagen naar minuten en kan 20–40 procent minder normoverschrijdingen opleveren. Optische biodiversiteitssensoren maken monitoring van soorten tot tienmaal frequenter en goedkoper dan handmatige tellingen, wat overheden en terreinbeheerders in staat stelt trends beter te volgen en maatregelen sneller te evalueren. De gecombineerde impact ligt in een aantoonbare reductie van milieubelasting en een verbeterde informatiebasis voor beleid en certificering en natuurbeheer.

Aansluiting op bestaande missies en actieagenda's

De PPS sluit aan bij de Kennis- en Innovatieagenda (KIA) Landbouw, Water, Voedsel (LWV), in het bijzonder bij Missie 2: Duurzame en klimaatneutrale landbouw, waarin de doelstelling is dat Nederland in 2050 duurzaam en klimaatneutraal voldoende gezond voedsel produceert binnen de draagkracht van land en zee.

Het programma draagt daarnaast bij aan onderdelen van Missie 1: Herstel en versterking van natuur en biodiversiteit, door de ontwikkeling van optische en robotische meetsystemen waarmee biodiversiteit in landbouw- en natuurgebieden objectief en continu kan worden gevolgd. Ook sluit het aan bij Missie 3: Klimaatbestendige inrichting van Nederland, door technologie te ontwikkelen die schone en efficiënte kringlopen van water en nutriënten ondersteunt, onder andere via realtime detectie van residuen van gewasbeschermingsmiddelen in water en bodem.

4.5. Aanpak

WP1 – Residual pesticide measurement

Doel is de ontwikkeling van schalbare betaalbare optische sensortechnieken voor realtime detectie van residuen van gewasbeschermingsmiddelen in voedsel, water en bodem. Het werkpakket richt zich op selectie van meetprincipes (bijv. UV-Vis, Raman en fluorescentie), miniaturisatie van optische componenten en ontwikkeling van robuuste meetmodules. Validatie vindt plaats in laboratorium- en veldomstandigheden, met vergelijking van

sensoruitkomsten met referentieanalyses. De resultaten worden ingezet voor monitoring in voedselverwerking, waterbeheer en teeltomgevingen.

WP2 – Gas sensors for nitrogen and GHG emissions

Dit werkpakket ontwikkelt en valideert open-path sensoren voor het meten van stikstofverbindingen en broeikasgassen op stallen en boerenerf. De technologie is gebaseerd op PIC-geïntegreerde tunable diode laser absorption spectroscopy (TDLAS). Onderzoek richt zich op gevoeligheid, selectiviteit en stabiliteit onder variabele omstandigheden. Prototypes worden ontwikkeld en getest in samenwerking met agrarische bedrijven, overheden en kennisinstellingen. Doel is een operationeel meetsysteem dat emissies in real time kan volgen en terugkoppelen aan bedrijfsmanagement en beleid.

WP3 – Biodiversity measurement with optical sensors

Het doel van dit werkpakket is het ontwikkelen van optische sensoren, robotica en beeldverwerkingstechnieken voor kwantitatieve biodiversiteitsmonitoring in landbouw- en natuurgebieden. Hierbij worden hyperspectrale en multispectrale camera's, en Near en Mid infrared spectrometers, gecombineerd met automatische herkenning van soorten via patroonanalyse en kunstmatige intelligentie. De technologie wordt getest in veldproeven en in samenwerking met beheerders en overheidsinstanties toegepast in meetnetwerken voor natuur en landbouw.

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd							2033	2034	2035
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032			
1. Residual pesticide measurement	2.5	X	x	x	x	x					
2. Gas sensors for nitrogen and GHG emissions	2.5	x	x	x	x	x	x	x			
3. Biodiversity measurement with optical sensors	2.5			x	x	x	x	x			

4.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
1. Residual pesticide measurement	2.5	2.5	0
2. Gas sensors for nitrogen and GHG emissions	2.5	2.5	0
3. Biodiversity measurement with optical sensors	2.5	2.5	0
Programma Totaal	7.5	7.5	0

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5					7,5
Totaal		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5					7,5

4.7. Consortium

Kennisinstellingen

- Wageningen University & Research (WUR) – wetenschappelijke coördinatie, sensorontwikkeling voor emissies en biodiversiteit, en validatie in agrarische en natuurlijke omgevingen.
- Hogeschool van Den Haag (HHS) – praktijkgericht onderzoek naar integratie van sensoren, dataverwerking en veldvalidatie.



- HAS Green Academy – expertise in teelt, waterkwaliteit en toepassing van residusensoren in voedsel- en waterstromen.
- Radboud Universiteit – fundamenteel onderzoek naar fotonische en spectroscopische principes voor gasdetectie en biodiversiteitsmeting.
- OnePlanet Research Center – systeemarchitectuur, ontwikkeling van geïntegreerde fotonische (PIC-based) TDLAS-sensoren en dataverwerking.

Technologiebedrijven en industriële partners

- imec Nederland – ontwerp en fabricage van fotonische chips en opto-elektronische componenten.
- PhotonDelta-partners – ondersteuning bij industrialisatie, packaging en opschaling van PIC-technologie. Startup bedrijven die de ontwikkelde technologieën naar de markt brengen (o.m. Spectrik, Nanovision).
- Regionale hightech MKB-bedrijven – betrokken bij ontwikkeling van optische modules, kalibratie-instrumenten en onderhoudssystemen.

Publieke en maatschappelijke partners

- Rijkswaterstaat – toepassing van sensortechnologie voor waterkwaliteit en biodiversiteitsmonitoring.
- RIVM – validatie en standaardisatie van meetprotocollen voor emissie- en residumetingen.
- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) – beleidsmatige inbedding en opschaling van meetinstrumenten voor emissie- en biodiversiteitsmonitoring.
- Provincie Gelderland – cofinanciering en ondersteuning van regionale pilotlocaties.

Gebruikers en pilotlocaties

- Agrarische bedrijven en coöperaties – testlocaties voor emissiemetingen en residumonitoring in praktijkomstandigheden (o.m. VdBorne Campus).
- Natuur- en terreinbeheerders – inzet van biodiversiteitsmeetsystemen in natuur- en landbouwgebieden.

Deze samenstelling zorgt voor een evenwicht tussen fundamenteel onderzoek, technologische ontwikkeling, validatie en toepassing in de praktijk. De partners dekken gezamenlijk de volledige keten van ontwerp tot beleidsimplementatie.

5. Voedselverwerking

5.1. Doel project

Het ontwikkeldoel van dit programma is om een robuuste en schaalbare inline meet- en modelleerketen voor fermentatieprocessen te ontwikkelen die realtime procesinzicht en directe processturing mogelijk maakt.

- Een modulair inline sensorpakket ontwikkelen voor bioreactoren, waarin Raman-spectroscopie en nanofotonische RI/T-sensoren geïntegreerd zijn, inclusief fouling-mitigatie en self-check, geschikt voor industrieel gebruik (SIP/CIP-bestendig).
- Realtime soft-sensoren en chemometrie/ML-modellen realiseren die uit de inline metingen kritische proces- en kwaliteitsparameters afleiden, zoals groeisnelheid μ , koolstof- en zuurstofbalansen, nutriëntenverbruik, titerontwikkeling en eindpuntdetectie.
- Betrouwbare kalibratie-overdracht en driftbewaking mogelijk maken van lab naar pilot en productie, met "zero-touch" modelupdates zodat één model schaal- en locatie-overstijgend inzetbaar blijft.
- De complete meetketen valideren in 2 tot 3 representatieve fermentaties (bacterie, gist en schimmel) als opstap naar brede industriële toepassing en koppeling aan geautomatiseerde processturing (model-predictive control).

5.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

Maatschappelijke drivers

- Toenemende eisen aan aantoonbare productkwaliteit en procescontrole in fermentatie, inclusief de wens om kwaliteitsvrijgave tijdens of direct na het proces te kunnen doen op basis van inline data.
- Druk om fermentatie als productiewijze aantoonbaar duurzamer te maken, vooral via efficiënter gebruik van energie en grondstoffen en het verminderen van afvalstromen.

Economische drivers

- Bedrijven willen meer voorspelbaarheid en minder batchverlies, omdat kleine afwijkingen in fermentatie grote kosten kunnen veroorzaken. Realtime inzicht maakt sneller bijsturen en stabielere opbrengsten mogelijk.
- Snellere opschaling van lab naar pilot en productie is nodig om nieuwe ingrediënten en precisiefermentatieproducten concurrerend en op tijd in de markt te zetten.

Technologische drivers

- De sector beweegt richting datagedreven bioprocessing: digitalisering en AI maken het haalbaar om processen in realtime te modelleren en te sturen, maar vragen om betrouwbare inline meetdata.

- De opkomst van geminiaturiseerde reactoren en low-flow processen voor screening en procesintensivering creëert behoefte aan compacte, robuuste inline sensoren die ook op kleine schaal dezelfde informatie leveren als in grotere reactors.

5.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

- Hoe maken we Raman-spectroscopie robuust in troebele, complexe fermentatiebroths, en welke laser-golflengte en -vermogensinstellingen zijn daarbij optimaal?
- Hoe combineren we Raman-data met RI/T-metingen en klassieke sensoren (zoals pH en DO) tot betrouwbare soft-sensoren voor titer- en nutriënteninschatting in realtime?
- Wat is de invloed van deeltjesgrootte en morfologie (bijvoorbeeld celclusters, gasbellen, vaste deeltjes) op Raman-spectra, en welke compensatie-algoritmen zijn nodig om dat te corrigeren?
- Hoe realiseren we kalibratie-overdracht en driftbewaking van lab naar pilot en productie, inclusief inzet van transfer learning, zodat modellen breed inzetbaar blijven zonder continue herkalibratie?
- Welke user requirements en ontwerpeisen zijn nodig voor SIP/CIP-bestendigheid, hygiënisch ontwerp en soepele industriële integratie van de sensoren en datastroom?

5.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

- Efficiëntere fermentaties door realtime procesinzicht en modelgestuurde bijsturing. Dat vertaalt zich naar:
 - 10 tot 25 procent kortere batchduur, of
 - minimaal 10 procent hogere opbrengst per batch.
- Minder batchverlies en minder noodzaak voor herbewerkingen, doordat afwijkingen vroeg worden gedetecteerd en gecorrigeerd.
- Lagere operationele kosten door optimaler gebruik van energie, grondstoffen en nutriënten, plus minder afvalstromen.
- Snellere opschaling en industrialisatie: kalibratie-transfer en “zero-touch” modelupdates verlagen de tijd en inspanning om van lab naar pilot en productie te gaan.
- Versnelling van productintroducties door inline kwaliteitsdata en kortere iteratiecycli in procesontwikkeling.
- Nieuwe commerciële kansen voor Nederlandse technologiebedrijven in fotonische sensoren, proces-Raman, dataplatforms en soft-sensor software, met exportpotentieel naar de wereldwijde bioprocessing- en precisiefermentatiemarkt.

Bijdrage aan maatschappelijke uitdagingen

- Duurzamere eiwit- en ingrediëntenproductie via precisiefermentatie, met lagere milieu-impact per kilo product door efficiëntieverbetering en minder verspilling.
- Versterking van voedselveiligheid en consumentenvertrouwen doordat kritische kwaliteitssignalen continu worden bewaakt en afwijkingen direct traceerbaar zijn.
- Betere monitoring van ongewenste componenten (zoals allergenen, biogene aminen of procesgerelateerde contaminanten) dankzij model-gestuurde inline inspectie.
- Versnelling van de transitie naar alternatieve, meer circulaire voedselketens doordat fermentatieprocessen betrouwbaarder en meer schaalbaar worden.
- Voedselproductie krijgt nu nog zijn stabiele output en consistentie door rigoureuze selectie vroeg in de keten met hoge verliezen tot gevolg. Door inline sensorsturing is hetzelfde resultaat haalbaar met een grotere variatie in de input.

5.5. Aanpak

WP1 - Ontwikkeling van sensor hardware

Verschillende optische meetprincipes – m.n. Raman-spectroscopie, lichtverstrooiing en refractie-indexmetingen – worden geïntegreerd in een modulair en industrieel toepasbaar sensorplatform. Focus ligt op het ontwerpen van robuuste meetcellen en probes die bestand zijn tegen hoge temperaturen, druk en reinigingsprocessen (SIP/CIP). Materialen, vensters en optische interfaces worden geselecteerd opdat die contaminatie en fouling minimaliseren. De hardware wordt getest op signaalstabiliteit, detectielimieten en reproduceerbaarheid.

WP2 - Data-analyse, chemometrie en soft-sensoren

In dit werkpakket worden de ruwe optische signalen omgezet in bruikbare procesinformatie. Via chemometrische technieken en moderne machine learning-modellen worden correlaties gelegd tussen spectra en referentiewaarden uit het laboratorium. Hieruit ontstaan zogenaamde soft-sensoren: softwaremodellen die in real-time parameters schatten zoals concentraties, groeisnelheid, productvorming of nutriëntenverbruik. Ook worden methoden ontwikkeld voor automatische driftcorrectie en kalibratie-overdracht, zodat één model op verschillende reactoren of locaties inzetbaar is.

WP3 – Integratie met procesautomatisering

De ontwikkelde sensoren en soft-sensoren worden geïntegreerd met bestaande procesregelsystemen (PLC/DCS). Dit werkpakket richt zich op de koppeling van hardware en software via gestandaardiseerde protocollen (bijv. OPC-UA) en de opzet van een data-infrastructuur waarin metingen veilig en traceerbaar worden opgeslagen. De gecombineerde meetketen vormt de basis voor “model predictive control”: een vorm van regeltechniek waarbij het proces proactief wordt bijgestuurd op basis van realtime voorspellingen.

WP4 – Use-cases en validatie

De geïntegreerde sensorketen wordt gevalideerd in representatieve fermentatiecases. Bijvoorbeeld biomassa fermentatie, methanotrofe precisie fermentatie en microbieel eiwit. Elke case wordt uitgevoerd op verschillende schalen (laboratorium, pilot en eventueel productie). Hierbij worden prestatie-indicatoren gevolgd zoals batchduur, opbrengst, productconsistentie en energieverbruik. De resultaten worden vergeleken met conventionele meet- en regelmethoden om de meerwaarde van optische en soft-sensor-gebaseerde sturing aan te tonen. Tevens worden implementatie- en onderhoudrichtlijnen opgesteld.

WP5 – Kwaliteit, regelgeving en valorisatie

In dit slotwerkpakket wordt de vertaalslag gemaakt naar industriële en maatschappelijke toepassing. Dit omvat de afstemming met voedselveiligheids- en kwaliteitsnormen (HACCP, EFSA, ISO), en de beoordeling van de inzet van inline metingen voor kwaliteitsvrijgave ("real-time release testing"). Daarnaast wordt de economische haalbaarheid onderzocht door middel van een kosten-batenanalyse (TCO, LCA).

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.Ontwikkeling	2		x	x							
2. Analyse	1			x	x						
3.Integratie	1,5				x	x					
4.Use cases	2,5					x	x				
5.Kwaliteit	0,5						x				

5.6. Financiering

Financiële breakdown

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
1.Ontwikkeling	2	1	1
2. Analyse	1	0,5	0,5
3.Integratie	1,5	0,75	0,75

4.Use cases	2,5	1,25	1,25
5.Kwaliteit	0,5	0,25	0,25
Programma Totaal	7,5	3,75	3,75

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75					3,75
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen		0,75	0,75	0,75	0,75	0,75					3,75
Totaal		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5					7,5

5.7. Consortium

De volgende partijen nemen deel in dit project als *partner*:

- Technologie/sensoren: FireFly Sensing (RI/T), PhotonFirst/LioniX/Delta Diagnostics (fotonica), Percepra (Raman), Metrohm Applikon (proces-Raman).
- Eindgebruikers: Voedingsingrediënten/fermentatiebedrijven (bv. DSM-Firmenich, Corbion, FrieslandCampina Ingredients, Vivici, NoPalm Ingredients, e.d.).
- Kennisinstellingen/TO2: WUR (Wageningen Food & Biobased Research), TU Delft, Universiteit Twente, TU/e, TNO.
- Integratie/automatisering: Biostream International, GEA, Sartorius, data-platform partners.
- Validatie/QA: BFF voor testen in real-life proces, onafhankelijke labs voor referentiemetingen.

6. Lichttechnieken voor dierenwelzijn

6.1. Doel project

Het primaire doel van de ontwikkeling van gespecialiseerde verlichting voor dieren is het verbeteren van hun gezondheid, welzijn en productiviteit, en tegelijkertijd de negatieve impact op de biodiversiteit te minimaliseren. De focus ligt op het creëren van verlichtingsoplossingen op maat die biologische functies ondersteunen, zoals circadiane ritmes, versterken van de immuunstatus (vb. door lichaamseigen vitamine D-productie), herstel en gedrag patronen, en tegelijk verstoringen door kunstmatige lichtvervuiling verminderen. Alsook het diervriendelijk inzetten van insecten voor landbouw, zoals bijvoorbeeld via het aansturen van hommels voor plantenbevruchting. De belangrijkste doelen zijn:

1. Kunstlicht voor vee en huisdieren: het ontwerpen van verlichtingssystemen die de natuurlijke dag-nachtcyclus nabootsen en lichtrecepten bieden die de gezondheid bevorderen (bijvoorbeeld vitamine D-synthese of herstel na inspanning bij sportbeoefenaars).
2. Licht voor insectenbestrijding: het gebruik van specifieke lichtspectra om plagen af te weren of nuttige insecten aan te trekken, met name in de landbouw en de glastuinbouw.
3. Licht voor optimaliseren van productiviteit in kassen: het aansturen van hommels voor de bevruchting van bijvoorbeeld aardbeien.
4. Licht voor bestrijden van epidemische ziektes in vee: het gebruik van UVGI (UV Germicidal Irradiation) voor voorkomen van ziekteoverdracht via de lucht (zoals bijvoorbeeld vogelgriep)
5. Licht voor het behoud van biodiversiteit: het minimaliseren van de verstoring van nachtdieren door kunstlicht, terwijl tegelijkertijd rekening wordt gehouden met de behoeften aan menselijke veiligheid, bijvoorbeeld door straten of gebouwen te verlichten.

Door deze doelen te verwezenlijken, kan verlichting een krachtig instrument worden om het dierenwelzijn te verbeteren, de schade aan het milieu te verminderen en duurzame praktijken in de landbouw en stadsplanning te ondersteunen.

6.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

Er zijn verschillende factoren die de behoefte aan onderzoek en innovatie op het gebied van dierenverlichting stimuleren:

- Dierenwelzijn: Er is een groeiend bewustzijn over het belang van het creëren van omgevingen die het fysieke en mentale welzijn van dieren ondersteunen, of het nu gaat om vee, huisdieren of wilde dieren. Er is een duidelijke synergie tussen gezondheid, efficiëntie en welbehagen (welfare) voor de dieren.
- Productiviteit in de landbouw: gezondere dieren zorgen voor een betere groei, hogere opbrengsten en lagere kosten voor antibiotica en veterinaire zorg. Geoptimaliseerde verlichting is daarom een waardevol hulpmiddel voor boeren.

- Milieuproblemen: Kunstlicht heeft aanzienlijke ecologische gevolgen, waaronder verstoring van het gedrag van nachtdieren en een bijdrage aan het verlies aan biodiversiteit. Het aanpakken van deze gevolgen is cruciaal voor natuurbehoud.
- Klimaatverandering en ongediertebestrijding: Door de stijgende temperaturen op aarde neemt het risico op insectenplagen toe, waardoor duurzame oplossingen voor ongediertebestrijding, zoals op licht gebaseerde methoden, urgenter worden.
- Vooruitgang in verlichtingstechnologie: de ontwikkeling van energiezuinige LED-, UV-verlichting en infraroodtechnologieën opent nieuwe mogelijkheden voor het creëren van op maat gemaakte verlichtingsoplossingen voor dieren.

Solid state lichtbronnen zoals LEDs en lasers, geconnecteerd op systeemniveau en geoptimaliseerd voor de verschillende toepassingsgebieden, laten toe om lichtrecepten aan te bieden die adaptief zijn op tijds-, plaats-, en spectraal niveau. Dit in combinatie met sensoren en dataverwerking die toelaten om terugkoppelingslusen naar de lichtrecepten te realiseren in real-time.

Deze drijfveren benadrukken het raakvlak van economische, ecologische en ethische overwegingen bij het streven naar betere verlichting voor dieren.

6.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

Ondanks de vooruitgang in verlichtingstechnologieën, bestaan er nog veel kennislacunes in het begrijpen van hoe dieren reageren op verschillende soorten licht. Belangrijke onderzoeksvragen zijn onder meer:

Kunstlicht voor vee en huisdieren

- Wat zijn de optimale lichtrecepten om de gezondheid en het biologische ritme van verschillende diersoorten te ondersteunen?
- Hoe kan infraroodlicht het herstel van sportdieren (bijvoorbeeld renpaarden) bevorderen? Hoe kan het verwachtingspatroon van de mens in balans gebracht worden met het natuurlijke gedrag van de dieren?
- Wat is de impact van langdurige blootstelling aan kunstlicht op het gedrag en de geestelijke gezondheid van huisdieren die binnen worden gehouden? Hoe kan een samenleving van dier en mens geoptimaliseerd worden?

Licht voor insectenbeheer

- Welke lichtspectra weren ongedierte en trekken nuttige insecten aan?
- Hoe beïnvloeden tijdelijke en ruimtelijke variaties in licht (bijvoorbeeld flikkerend licht of veranderende golflengtes) het gedrag van insecten?
- Welke rol speelt lichtpolarisatie bij het aantrekken of afstoten van specifieke insectensoorten?

- Hoe kan het vlieggedrag van nuttige insecten zoals hommels, in de kassenteelt, positief beïnvloed worden met licht?

Licht voor biodiversiteitsbehoud

- Hoe reageren nachtdieren op verschillende golflengtes en intensiteiten van kunstlicht?
- Welke verlichtingsconfiguraties minimaliseren de verstoring van wilde dieren en zorgen tegelijkertijd voor de veiligheid van mensen (bijvoorbeeld in het verkeer of in stedelijke gebieden)?
- Kan kunstmatige verlichting worden aangepast om de ecologische voetafdruk te verkleinen zonder dat dit ten koste gaat van de functionaliteit?

Licht voor bestrijden van ziekte-transmissie in de landbouw

- Hoe kan licht gebruikt worden om aantasting van planten door insecten tegen te gaan?
- Op welke manier kan UVGI op een veilige en doeltreffende manier geïmplementeerd worden in de veeteelt? Dit om productiviteitsverlies ('ruimen van volledige stallen) te vermijden en dierenwelzijn te verbeteren.
- Hoe kan licht (UVGI) bijdragen aan de bioveiligheid van dier en mens, en een van de maatregelen tegen zoönotische ziekten?

Om deze vragen te kunnen beantwoorden, is interdisciplinair onderzoek nodig waarbij biologie, natuurkunde, milieuwetenschappen en technologieontwikkeling betrokken zijn.

6.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

Het optimaliseren van de verlichting voor dieren biedt aanzienlijke economische kansen, met name in de landbouw en veeteelt. Nederland heeft bijvoorbeeld een omvangrijke veehouderij met meer dan 100 miljoen kippen, 12 miljoen varkens en 4 miljoen runderen. Verbeterde lichtomstandigheden voor deze dieren zouden het volgende kunnen bereiken:

- **Verhoogde productiviteit:** gezondere dieren groeien sneller, produceren producten van hogere kwaliteit (bijv. melk, eieren, vlees) en hebben betere reproductieresultaten.
- **Kostenbesparing:** betere verlichting vermindert de behoefte aan antibiotica en veterinaire zorg, waardoor de bedrijfskosten voor boeren dalen.
- **Versterken van de concurrentiepositie:** Door innovatieve verlichtingsoplossingen te implementeren, kunnen landen als Nederland wereldwijd marktleider worden op het gebied van duurzame landbouw en technologieën voor dierenwelzijn.
- **Verbeterde de duurzaamheid:** lichtgebaseerde ongediertebestrijding in de glastuinbouw kan de afhankelijkheid van chemische bestrijdingsmiddelen verminderen en zo milieuvriendelijke landbouwmethoden ondersteunen.

- **Steun de huisdierensector:** Op maat gemaakte verlichtingsoplossingen voor hobbydieren, zoals katten, honden en paarden, kunnen nieuwe markten openen in de huisdierversorgung en het herstel van sportdieren.

Naast landbouw en dierenverzorging kunnen gespecialiseerde verlichtingssystemen voor biodiversiteitsbehoud worden geïntegreerd in stadsplanning en infrastructuurprojecten, waardoor ecologische schade wordt verminderd en de veiligheidsnormen worden gehandhaafd. Deze innovaties hebben de potentie om industrieën te transformeren en economische voordelen op de lange termijn te creëren.

6.5. Aanpak

Een plan voor onderzoek naar de ontwikkeling van gespecialiseerde verlichtingssystemen voor dieren zou interdisciplinaire samenwerking vereisen op het gebied van biologie, natuurkunde, milieuwetenschappen en techniek. Het plan zou worden gestructureerd in afzonderlijke werkpakketten (WP's), die elk belangrijke aspecten van het onderwerp behandelen. Hieronder vindt u een voorstel voor een dergelijk onderzoeksprogramma, samen met het aantal promovendi dat aan elk werkpakket wordt toegewezen.

Werkpakket 1: Inzicht in de reacties van dieren op licht

Doelstelling: Onderzoek naar de fysiologische, gedragsmatige en ecologische reacties van verschillende dieren (vee, huisdieren, wilde dieren en insecten) op verschillende lichtspectra, intensiteiten, polarisatie en tijdspatronen.

Activiteiten:

- Bestudeer circadiane ritmes bij vee en huisdieren onder verschillende kunstmatige lichtomstandigheden.
- Onderzoek het effect van lichtgolflengtes op de productie van vitamine D, het herstel en de algehele gezondheid van dieren.
- Observeer de gedragpatronen van nachtelijke wilde dieren onder kunstlicht en identificeer versturende lichtspectra.
- Onderzoek hoe insecten reageren op verschillende lichtspectra, waaronder UV-licht en gepolariseerd licht.

Deliverables:

- Uitgebreide datasets over lichtreacties voor specifieke diergroepen.
- Richtlijnen voor optimale lichtomstandigheden voor de gezondheid en het welzijn van dieren.

Werkpakket 2: Ontwikkeling van op maat gemaakte verlichtingssystemen

Doelstelling: Ontwerp en prototype van verlichtingssystemen die het welzijn van dieren verbeteren en de ecologische verstoring minimaliseren.

Activiteiten:

- Ontwikkel dynamische verlichtingssystemen die de natuurlijke dag-nachtcyclus voor vee en huisdieren nabootsen.
- Creëer UV-gebaseerde of gepolariseerde lichtsystemen voor ongediertebestrijding in de veeteelt, land- en tuinbouw.
- Prototype van een milieuvriendelijke buitenverlichting die lichtvervuiling vermindert en tegelijkertijd de veiligheid van mensen waarborgt.

Deliverables:

- Functionele prototypes van verlichtingssystemen voor verschillende toepassingen (veehouderijen, huisdiervverblijven, kassen, stedelijke gebieden).
- Technische specificaties voor lichtrecepten afgestemd op de behoeften van dieren.

Werkpakket 3: Langetermijn veldtesten en validatie

Doelstelling: Grootschalige veldproeven uitvoeren om de effectiviteit van ontwikkelde verlichtingssystemen onder realistische omstandigheden te testen.

Activiteiten:

- Implementeer verlichtingssystemen in veehouderijen en monitor de gezondheid van dieren, productiviteit en het antibioticagebruik in de loop van de tijd.
- Test de verlichting voor ongediertebestrijding in kassen en meet de impact ervan op de gewasopbrengst en insectenpopulatie.
- Installeer diervriendelijke verlichting in stedelijke gebieden en beoordeel het effect ervan op het gedrag van nachtdieren en de biodiversiteit.
- Bestudeer en valideer systemen die toelaten om real-time aanpassingen te doen in functie van het beoogde resultaat van de lichtsettings.

Deliverables:

- Langetermijn validatierapporten die meetbare verbeteringen in diergezondheid, productiviteit en ecologische resultaten laten zien.
- Feedback verfijnen van verlichtingssystemen op basis van resultaten van veldproeven.

Werkpakket 4: Mechanismen van lichtinteractie

Doelstelling: De onderliggende biologische en fysieke mechanismen onderzoeken waarmee licht interacteert met dieren, insecten en ecosystemen.

Activiteiten:

- Bestudeer hoe licht de biologische processen in dieren beïnvloedt. Onderzoek de moleculaire routes beïnvloedt die betrokken zijn bij de synthese van vitamine D en het herstel na prestaties.
- Onderzoek de rol van polarisatie en flinkerend licht in het gedrag van insecten.
- Classificeer diergroepen in functie van hun respons op licht (bijvoorbeeld het verschil tussen dag- en nachtvlieger insecten)
- Onderzoek de mogelijke synergie van het gebruik van licht voor gemengde diergroepen, zoals bijvoorbeeld mens en huisdier (co-existentie).
- Onderzoek de interactie tussen kunstlicht en natuurlijke ecosystemen, met de nadruk op trofische cascades en biodiversiteit.

Deliverables:

- Wetenschappelijke publicaties over de fundamentele mechanismen van lichtinteracties.
- Nieuwe inzichten voor het ontwerp van toekomstige verlichtingssystemen.

Werkpakket 5: Economische en sociale effectbeoordeling

Doelstelling: De economische, ecologische en sociale impact van gespecialiseerde verlichtingssystemen evalueren, evenals de belemmeringen voor de acceptatie ervan.

Activiteiten:

- Voer kosten-batenanalyses uit voor de implementatie van verlichtingssystemen in de veehouderij en tuinbouw.
- Beoordeel de ecologische voordelen van diervriendelijke verlichting bij het verminderen van biodiversiteitsverlies.
- Onderzoek de publieke perceptie en beleidsmatige implicaties van op dieren gerichte verlichtingstechnologieën.
- Evaluer en definieer strategie ten aanzien van de regelgeving op landelijk en Europees niveau (bijvoorbeeld eisen dierenwelzijn).

Deliverables:

- Economische modellen die de winstgevendheid en kosteneffectiviteit van verlichtingssystemen aantonen.
- Beleidsaanbevelingen integreren diervriendelijke verlichting landbouw en stadsplanning.

- Interactie met wetgevers op landelijk en Europees niveau (regelgeving, standaardisatie).

Werkpakket 6: Technologie-integratie en commercialisering

Doelstelling: Schaalbare technologieën ontwikkelen en samenwerken met partners uit de industrie om diervriendelijke verlichtingssystemen op de markt te brengen.

Activiteiten:

- Werk samen met fabrikanten om kosteneffectieve en energiezuinige verlichtingsproducten te ontwikkelen.
- Creëer trainingsprogramma's boeren en stedenbouwkundigen t.b.v. systeemimplementatie.
- Ontwikkel commercialiseringsstrategieën, inclusief marketing- en distributieplannen.

Deliverables:

- Commercieel haalbare verlichtingsproducten voor veehouderij, ongediertebestrijding en behoud van biodiversiteit.
- Trainingsmateriaal voor belanghebbenden om een correcte implementatie te garanderen.

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd							2033	2034	2035
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032			
1. Reacties op licht	2		x	x							
2. Verlichtingsystemen	2		x	x	x						
3. Veldtest en validatie	2				x						
4. Lichtinteractie-mechanismen	1			x	x	x					
5. Effectbeoordeling	1				x	x	x				
6. Integratie	1					x	x	x			

6.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
1. Reacties op licht	2	1,4	0,6
2. Verlichtingsystemen	2	1,4	0,6
3. Veldtest en validatie	2	1,4	0,6
4. Lichtinteractie- mechanismen	1	0,7	0,3
5. Effectbeoordeling	1	0,7	0,3
5. Integratie	1	0,7	0,3
Programma Totaal	9	6,3	2,7

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen		0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45				2,7
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen		1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05				6,3
Totaal		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5				9

6.7. Consortium

De Hoeve BV, Lely, Signify, Westfort, WUR

7. Structural and molecular imaging

7.1. Doel project

Het programma richt zich op de **ontwikkeling en kennisverdieping** van structurele en optische beeldvorming, waarbij **Optical Coherence Tomography (OCT)** wordt gecombineerd met **doelgerichte fluorescentie**. Het doel is beter te begrijpen en te benutten hoe lichtinteractie met weefsel kan worden gebruikt om **structurele en moleculaire informatie gelijktijdig** vast te leggen. De onderzoeksdoelen zijn:

- het ontwikkelen van **nieuwe fluorescentietracers** met gecontroleerde bindingskinetiek en lage achtergrond;
- het opzetten van **kwantitatieve modellen** voor fluorescentiesignalen, inclusief correctie voor weefseloptica;
- het ontwerpen van **geïntegreerde OCT-fluorescentiesystemen** die fysisch en computationeel gekalibreerd zijn;
- en het valideren van deze technologie in **realistische klinische scenario's** (onder meer slokdarm en long).

De opgedane kennis vormt de basis voor gestandaardiseerde en klinisch toepasbare optische systemen. Het programma bouwt voort op het **NWO-Perspectiefprogramma MedPhot** ([NWO, MedPhot](#)), een recent toegekende ERC advanced Grant (immuno-OCT) en richt zich op de **wetenschappelijke verdieping en technologische consolidatie** van die resultaten.

7.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

Maatschappelijk

Vroege detectie van ziekten blijft een knelpunt in de gezondheidszorg. Huidige beeldvorming maakt structurele veranderingen zichtbaar, maar niet de onderliggende moleculaire processen die aan ziekte voorafgaan. Het combineren van structurele informatie (OCT) met moleculaire detectie (fluorescentie) kan afwijkingen aantonen in een preklinisch stadium. Dat maakt nauwkeurigere diagnostiek en gerichtere behandeling mogelijk, met potentieel lagere zorgkosten en minder belasting voor de patiënt.

Economisch

Nederland heeft een sterke kennisbasis in optica, fotonica en precisietechnologie, maar de toepassing daarvan in de medische sector is nog beperkt. Door verdere ontwikkeling van geïntegreerde optische beeldvormingssystemen kunnen nieuwe waardeketens ontstaan rond medische instrumentatie, sensorontwikkeling en data-analyse. Dit versterkt bestaande bedrijven en biedt ruimte voor nieuwe spin-offs gericht op diagnostiek en endoscopie.

Technologisch

De vooruitgang in geïntegreerde fotonica, miniatuurlichtbronnen, spectrale detectie en dataverwerking maakt het technisch haalbaar om structurele en moleculaire beeldvorming te combineren. Nieuwe computationele methoden voor signaalanalyse en reconstructie maken kwantitatieve fluorescentiemetingen mogelijk. De samenkomst van deze ontwikkelingen vormt de directe aanleiding om kennis en technologie verder te integreren tot gestandaardiseerde en klinisch toepasbare systemen.

7.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

Het programma richt zich op kennisontwikkeling rond de fysische, chemische en computationele principes die nodig zijn om structurele en moleculaire optische beeldvorming betrouwbaar te combineren. De centrale kennisvragen zijn:

- **Tracerinteractie en specificiteit** - Hoe kan de bindingsspecificiteit en farmacokinetiek van fluorescentietracers worden gemodelleerd en gecontroleerd, zodat lage doseringen voldoende signaal opleveren zonder achtergrondruis?
- **Optische signaalgvorming en kwantificatie** - Hoe beïnvloeden weefseleigenschappen, verstrooiing en absorptie de fluorescentiesignalen, en hoe kunnen deze effecten fysisch en computationeel worden gecorrigeerd om kwantitatieve metingen mogelijk te maken?
- **Integratie van modaliteiten** - Hoe kunnen OCT en fluorescentie fysisch en optisch worden gekoppeld in één instrument met stabiele co-registratie, minimale interferentie en betrouwbare kalibratie over tijd?
- **Systeemminiaturisatie en robuustheid** - Wat zijn de grenzen voor miniaturisatie van gecombineerde optische systemen zonder verlies van resolutie of signaalkwaliteit, en hoe kan robuustheid worden gegarandeerd voor klinisch gebruik?
- **Validatie in biologische en klinische context** - Hoe vertaalt de gemeten fluorescentierespons zich naar biologische relevantie in verschillende organen, en welke parameters bepalen de reproduceerbaarheid tussen patiënten en centra?
- **Gegevensverwerking en reconstructie** - Hoe kunnen algoritmen voor beeldreconstructie en datafusie worden ontworpen om structurele en moleculaire informatie in real-time te integreren en te interpreteren?

Deze vragen vormen de kern van de kennisbasis waarop verdere standaardisatie en klinische implementatie kan worden gebouwd.

7.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

Impact op verdienvermogen

De ontwikkeling van geïntegreerde structurele en moleculaire beeldvorming opent nieuwe markten voor Nederlandse bedrijven in fotonica, instrumentatie en medische technologie. De betrokken kennisinstellingen en spin-offs bouwen voort op een bestaande kennispositie uit



Perspectief 'MedPhot'. Verwacht wordt dat dit leidt tot nieuwe producten op het gebied van miniatuur-endoscopie, optische sensoren en software voor kwantitatieve beeldanalyse. De markt voor optische diagnostiek groeit internationaal met circa 8–10 % per jaar, waarmee de technologie bijdraagt aan het exportvermogen van de Nederlandse fotonicasector.

Bijdrage aan maatschappelijke uitdagingen

De technologie richt zich op vroegtijdige detectie van ziekten en meer gerichte behandeling. Daarmee ondersteunt het programma de gezondheidsmissies gericht op langer gezond leven en betaalbare zorg. Door minder invasieve diagnostiek en kortere behandeltrajecten daalt de zorgdruk. Daarnaast wordt bijgedragen aan kennisopbouw voor opleiding en behoud van personeel in medische technologie, een structureel knelpunt in het zorgsysteem.

Aansluiting met bestaande missies

Het programma sluit aan bij de missie "Gezondheid en Zorg" (KIA Maatschappelijke Thema's) en de kennisagenda OSIP. De onderzoeksactiviteiten leveren directe input voor industriële partners binnen het fotonica-ecosysteem en dragen bij aan de doelstellingen van de Key Enabling Technology-route op het gebied van precisiedetectie en sensortechnologie.

7.5. Aanpak

Het programma kent een looptijd van acht jaar en is opgebouwd uit zes werkpakketten.

WP1 – Tracerontwikkeling en karakterisering

Onderzoek naar nieuwe fluorescentietraceren met hoge bindingsspecificiteit en gecontroleerde farmacokinetiek. Focus ligt op koppeling aan relevante doelmoleculen, stabiliteit in fysiologische omstandigheden en standaardisatie van synthese- en testmethoden.

WP2 – Fysische modellering en kwantificatie

Ontwikkeling van fysische modellen voor fluorescentiesignaalvorming in verstrooiend weefsel. Hierbij worden laboratoriummetingen gecombineerd met computationele simulaties om optische eigenschappen te koppelen aan gemeten intensiteiten. Doel is om betrouwbare correcties en kalibratieprotocollen te definiëren voor kwantitatieve beeldvorming.

WP3 – Integratie van OCT en fluorescentie

Ontwerp en realisatie van gecombineerde optische systemen die structurele (OCT) en moleculaire (fluorescentie) informatie gelijktijdig meten. Activiteiten omvatten systeemontwerp, optische koppeling, spectrale optimalisatie en co-registratie van datasets.

WP4 – Miniaturisatie en instrumentatie

Ontwikkeling compacte en klinisch toepasbare instrumenten, w.o. katheter- en capsule-gebaseerde systemen. Nadruk op robuustheid, sterilisatie, veiligheid, reproduceerbaarheid.

WP5 – Validatie in biologische en klinische modellen

Testen en valideren van de technologie in modelweefsels en vervolgens in geselecteerde klinische use-cases (slokdarm, long, galwegen). Hierbij worden parameters voor signaalsterkte, specificiteit en reproduceerbaarheid vastgesteld.

WP6 – Data-analyse, standaardisatie en implementatie

Ontwikkeling van algoritmen voor reconstructie en dataverwerking, inclusief integratie van structurele en moleculaire beelden. Daarnaast worden standaardisatieprotocollen en richtlijnen opgesteld voor klinisch gebruik en data-uitwisseling.

De werkpakketten lopen deels parallel. WP1–3 starten in de eerste fase (jaar 1–3) en vormen de wetenschappelijke kern. WP4–6 volgen in de tweede helft (jaar 4–8) gericht op validatie, standaardisatie en overdracht naar klinische en industriële partners.

Het programma combineert fundamenteel onderzoek met technologische ontwikkeling en praktijkvalidatie. De samenwerking tussen universiteiten, medische centra en bedrijven garandeert dat nieuwe kennis direct kan worden vertaald naar concrete toepassingen en duurzame economische en maatschappelijke impact.

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1. Tracerontwikkeling en karakterisering	3	x	x	x	x						
2. Fysische modellering en kwantificatie	2	x	x	x	x	X					
3. Integratie van OCT en fluorescentie	2		x	x	x	x	x				
4. Miniaturisatie en instrumentatie	2			x	x	x	x	x			
5. Validatie in biologische en klinische modellen	2				x	x	x	x	x		
6. Data-analyse, standaardisatie en implementatie	1					x	x	x	x		

7.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
1. Tracerontwikkeling en karakterisering	3	2,1	0,9
2. Fysische modellering en kwantificatie	2	1,4	0,6
3. Integratie van OCT en fluorescentie	2	1,4	0,6
4. Miniaturisatie en instrumentatie	2	1,4	0,6
5. Validatie in biologische en klinische modellen	2	1,4	0,6
6. Data-analyse, standaardisatie en implementatie	1	0,7	0,3
Programma Totaal	12	8,4	3,6

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen	0,15	0,3	0,6	0,6	0,6	0,6	0,3	0,3	0,15		3,6
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen		1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	0,7	0,7			8,4
Totaal	0,15	1,7	2	2	2	2	1	1	0,15		12



7.7. Consortium

- **Kennisinstellingen:** Technische Universiteit Delft (TU Delft), TNO, Universiteit Utrecht (UU), Universiteit van Amsterdam (UvA), Vrije Universiteit Amsterdam (VU, inclusief VU-Laserlab)
- **Academische ziekenhuizen:** Amsterdam UMC (AUMC), Leiden University Medical Center (LUMC), Universitair Medisch Centrum Groningen (UMCG)
- **Bedrijven:** ASML, CHDR (Centre for Human Drug Research), Demcon, Dispertech, Elesta, Exometry, GlycanScan, Lumeniris (voorheen Capsule Photonics, spin-off uit MedPhot), Mauna Kea Technologies, NinePoint Medical, Optos, Percuros, PINS, Spectradyne, Thorlabs, Tracer

8. Wearables

8.1. Doel project

Het programma richt zich op de ontwikkeling van hoogwaardige, inclusieve en medisch betrouwbare draagbare optische sensoren. Deze sensoren meten gezondheidsparameters via lichtinteractie met huidweefsel, zonder invasieve ingrepen. De technologische doorbraak ligt in het combineren van ultrasensitieve fotodetectoren met een breder spectrum aan golflengten, waardoor nieuwe biomarkers kunnen worden gedetecteerd en de nauwkeurigheid voldoet aan medische standaarden.

8.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

De maatschappelijke druk op de zorg groeit. Draagbare sensoren maken continue monitoring van gezondheidsparameters mogelijk, wat vroegtijdige signalering van gezondheidsproblemen ondersteunt. Dit faciliteert vroegtijdige en laagdrempelige interventies en verlaagt daardoor de zorgkosten. Economisch gezien opent dit een snelgroeiende markt voor medische wearables en diagnostiek binnen en buiten het ziekenhuis. Technologisch zijn er sterke drijfveren: de huidige generaties sensoren zijn beperkt in precisie, niet goed toepasbaar bij donkere huidtypen en missen de gevoeligheid voor een bredere set biomarkers. Een sprong in fotonische detectie en modellering van lichtweefselinteractie is daarom noodzakelijk.

8.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

Het programma adresseert drie kernthema's:

- Hoe kan licht-weefsel-interactie fysisch correct worden gemodelleerd in een diverse populatie (huidtype, leeftijd, geslacht, BMI)?
- Welke combinaties van golflengten en detectorgevoeligheid leveren betrouwbare medische metingen binnen veiligheidslimieten voor een diverse populatie?
- Hoe vertaal je deze kennis naar schaalbare, energiezuinige en kosteneffectieve sensordesigns?

8.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

Deze ontwikkeling versterkt het Nederlandse verdienvermogen op het snijvlak van fotonica en medische technologie. De wereldwijde markt voor medische wearables groeit jaarlijks met meer dan 20 procent. Nederland beschikt over sterke kennisclusters in fotonica en health tech, waardoor deze innovatie de internationale concurrentiepositie versterkt. Maatschappelijk draagt het programma bij aan missiegedreven thema's binnen Gezondheid & Zorg, met nadruk op gelijke toegang tot betrouwbare monitoring voor een diverse



populatie (inclusieve sensor ontwikkeling) en op verlaging van zorgdruk via vroegdiagnostiek.

De aansluiting met de actieagenda Sleuteltechnologieën (KIA ST) ligt in de verdieping van fotonische detectie en modelvorming als enabling technology voor inclusieve, digitale gezondheidsooplossingen.

8.5. Aanpak

Het programma heeft een looptijd van 6 jaar en is opgedeeld in vier samenhangende werkpakketten (WP 1 t/m WP 4). De opbouw weerspiegelt de doorlooptijd van TRL-3 tot TRL-8, zodat zowel industrieel onderzoek als experimentele ontwikkeling en toegepaste validatie worden gerealiseerd.

WP 1 – Modelleren en fundamenteel (jaar 1–2)

In deze fase ligt de focus op fysisch correcte modellen van licht-weefselinteractie, met variatie in huidtypen (gerelateerd aan o.a. huidskleur, leeftijd, geslacht, BMI) en verschillende biomarkerprofielen (o.a. hartslag, bloeddruk, zuurstofsaturatie, vaatdiameter, hydratatie). Hier wordt een combinatie van fundamenteel en industrieel onderzoek uitgevoerd (TRL 2–4). Mijlpalen zijn: modelvalidatie met gemeten data, publicatie van resultaten en opzet van simulatieplatform.

WP 2 – Sensorarchitectuur en prototypen (jaar 2–4)

Op basis van WP 1 worden ultrasensitieve fotodetectoren en multispectrale modules ontwikkeld. Deze fase betreft industriële en experimentele ontwikkeling (TRL 4–6). De activiteiten omvatten ontwerp, integratie van lichtbronnen en detectoren, energie-optimalisatie en eerste prototypetest op laboratoriumniveau. Mijlpalen zijn: werkende module, prestatiebenchmark versus referentie, Go/No-Go voor versnelling naar pilotfase.

WP 3 – Validatie en demonstratie (jaar 4–5½)

Hier vinden systeemintegratie en praktijkgericht testen plaats (TRL 6–7). Prototypes worden getest bij verschillende huidtypen in semi-klinische setting. Belangrijke mijlpalen: klinische validatie van geselecteerde biomarkers, energie- en betrouwbaarheidstest, eerste pilot in echte gebruiksomgeving. Verdere Go/No-Go bepaalt of doorgedaan wordt naar marktvoorbereiding.

WP 4 – Opschaling, standaardisatie en marktintroductie (jaar 5½–6)

De laatste fase richt zich op toepassing (TRL 7–8). Activiteiten zijn onder andere: opstellen van interoperabiliteits- en kwaliteitsstandaarden, CE-conformiteit, verdienmodelontwikkeling, spin-out en productievoorbereiding. Mijlpalen omvatten: certificering, pilotcommercialisatie, exportplan en strategische partnerschappen.

Doorlopend is er stakeholder-engagement (zorginstellingen, hightechbedrijven, eindgebruikers) en valorisatieplanning gekoppeld aan elk werkpakket. De aanpak waarborgt dat fundamentele kennis direct vertaald wordt naar prototypes en vervolgens naar praktische toepassingen, terwijl Go/No-Go-momenten zorgen voor risicomanagement en focus op industriële relevantie.

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1. Modelleren en fundamenteel	2	x	x								
2. Sensorarchitectuur en prototyping	3		x	x	x						
3. Validatie en demonstratie	2.5				x	x					
4. Opschaling, standaardisatie en marktintroductie	2.5					x	x	x			

8.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
1. Modelleren & Fundamenteel	2	1,4	0,6
2. Sensorarchitectuur & prototyping	3	2,1	0,9
3. Validatie & demonstratie	2.5	1.25	1.25
4. Opschaling, standaardisatie en marktintroductie	2.5	1.25	1.25
Programma Totaal	10	6	4

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/											

bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen	0.25	0.5	1	1	1	0.25					4
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen	0.25	1	1.5	1.5	1	0,75					6
Totaal	0,5	1.5	2.5	2.5	2	1					10

8.7. Consortium

- **Universiteiten en hogescholen:** HHS (De Haagse Hogeschool), WUR (Wageningen University & Research), VU
- **Onderzoeksinstituten/ innovatie-instituten:** Holst CentreTNO
- **Bedrijven:** Philips, NXP, PraxaSense, SmartQare, Aikon Health, Corsano, Nowatch, Finapress Medical Systems, Artinis, Bilihome

9. Retinal imaging

9.1. Doel project

Het programma richt zich op de ontwikkeling van de volgende generatie *retinale beeldvormingstechnologieën* voor vroege en nauwkeurige detectie van oogaandoeningen en systemische ziekten. De technologische kern ligt in het uitbreiden van de optische mogelijkheden van bestaande systemen (zoals funduscamera's, Scanning Laser Ophthalmoscopen en OCT) met functies die onder meer de zuurstofverzadiging en bloedstroom in het microvasculaire netwerk van het netvlies kwantificeren. Hiermee wordt een stap gezet van visuele observatie naar functionele diagnostiek.

9.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

De belangrijkste drijfveren zijn zowel maatschappelijk als technologisch. Oogaandoeningen vormen wereldwijd een groeiend gezondheidsprobleem, mede veroorzaakt door vergrijzing en de toename van diabetes. Vroege opsporing vermindert de kans op blindheid en verlaagt de zorgkosten aanzienlijk. Daarnaast wordt steeds duidelijker dat biomarkers in het netvlies verband houden met cardiovasculaire en neurodegeneratieve aandoeningen. Door verbeterde retinale beeldvorming kunnen ziekten als Alzheimer, Parkinson en hart- en vaatziekten eerder worden opgespoord, wat bijdraagt aan preventieve en gepersonaliseerde zorg. Economisch gezien biedt dit aanzienlijke waarde in een vergrijzende samenleving met stijgende zorgkosten.

9.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

De belangrijkste kennisvragen betreffen:

- Hoe kan licht-weefsel-interactie in de retina nauwkeurig worden gemodelleerd om betrouwbare biomedische parameters (zoals StO_2 en bloedstroomsnelheid) af te leiden?
- Welke optische strategieën (bijv. hyperspectrale, retro-mode, modulated of polarisatiegevoelige belichting) leveren de meest robuuste en klinisch relevante data?
- Hoe kunnen algoritmen worden gevalideerd om de meetnauwkeurigheid en reproduceerbaarheid te garanderen bij toepassing in verschillende klinische contexten?

9.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

De ontwikkeling draagt bij aan het Nederlandse verdienvermogen door innovatie in hightech optica, medische beeldvorming en data-analyse. Het programma versterkt de kennispositie van Nederland op het gebied van precisiediagnostiek en optische technologie, domeinen waarin Nederlandse bedrijven en kennisinstellingen wereldwijd vooroplopen. Verwacht wordt dat de resulterende technologie nieuwe bedrijvigheid genereert in medische instrumentatie



en softwareontwikkeling, met een sterke exportcomponent richting Europa, Noord-Amerika en Azië.

Maatschappelijk ondersteunt het programma de ambitie om ziekten eerder te herkennen en de zorg preventiever en betaalbaarder te maken. Door middel van verbeterde retinale diagnostiek kunnen aandoeningen zoals diabetische retinopathie, cardiovasculaire afwijkingen en neurodegeneratieve ziekten in een vroeg stadium worden opgespoord. Dit vergroot de kans op effectieve behandeling, vermindert zorgkosten en draagt bij aan een hogere levenskwaliteit en zelfstandigheid van patiënten.

9.5. Aanpak

Het programma realiseert een volgende generatie retinale beeldvorming door functionele metingen, zuurstofsaturatie en microvasculaire flow, toe te voegen aan bestaande klinische workflows. De aanpak combineert optische vernieuwing met fysica-gebaseerde en datagedreven algoritmen, en verloopt gefaseerd zodat onderdelen met hoge TRL snel kunnen worden opgeschaald terwijl laag-TRL modules gecontroleerd naar de kliniek groeien.

WP1 Systeemspecificatie en modelvorming, jaar 1–2

Eisen vanuit oogheelkunde en eerstelijnszorg vertalen naar systeemarchitectuur. Opzetten van licht-weefselmodellen en Monte-Carlo-simulaties voor retina, inclusief kalibratie- en meetonzekerheid. Output: gevalideerde simulators, referentiemetingen en dataschema's.

WP2 Instrumentmodules en prototyping, jaar 1–4

Ontwikkeling en integratie van modules voor mc-SFDI, hyperspectrale belichting en PS-OCT op bestaande fundus/SLO/OCT-platforms. Voor OCTA en retro-mode wordt vooral industrialisatie en workflow-integratie uitgevoerd. Output: prototype hardware, safety dossiers, reproduceerbare meetprotocollen.

WP3 Algoritmen en oximetrie, jaar 2–5

Ontwikkeling van fysica-gebaseerde inversie en AI-postprocessing voor StO₂ en flow, met bias- en driftcontrole. Validatie op geavanceerde model-ogen en referentiedata. Output: algoritmelibrary met prestatierapporten en FAIR datasets.

WP4 Klinische evaluatie en regulator, jaar 3–8

Prospectieve studies in diabetische retinopathie, AMD en vasculaire risico-stratificatie. Endpoints, reproduceerbaarheid, klinische besliswaarde, workflow-impact. Voor OCTA en retro-mode, uitbreiden van indicaties en real-world evidence. Output: klinische dossiers, IEC 60601 en ISO 13485 documentatie, trajecten richting CE en, waar relevant, FDA.

WP5 Schaalvergroting en marktintroductie, jaar 5–10

Design-for-manufacture, supply-chain, service en cybersecurity. Koppeling met EPD en tele-oogzorg. Businesscases en exportkanalen. Output: gelicenseerde technologie en productlijnen met service- en onderhoudsplan.

WP6 Programma-sturing en ethiek, doorlopend

Datamanagement, privacy, inclusieve dataverzameling, patiëntbetrokkenheid en economische evaluaties. Stage-gates op basis van TRL, met go/no-go criteria per WP.

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032			
1. Systeemspecificatie en modelvorming	3	x	x								
2. Instrumentmodules en prototyping	4	x	x	x	x						
3. Algoritmen en oximetrie	3		x	x	x	x	x				
4. Klinische evaluatie en regulatorisch traject	5			x	x	x	x	x	x		
5. Schaalvergroting en marktintroductie	3					x	x	x	x	x	x
6. Programma-sturing, ethiek en data governance	2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

9.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
1. Systeemspecificatie en modelvorming	3	2,1	0,9
2. Instrumentmodules en prototyping	4	2,8	1,2
3. Algoritmen en oximetrie	3	2,1	0,9

4. Klinische evaluatie en regulator traject	5	3,5	1,5
5. Schaalvergroting en marktintroductie	3	2,1	0,9
6. Programma-sturing, ethiek en data governance	2	2	0
Programma Totaal	20	14,6	5,4

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	5,4
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen		1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,4	14,6
Totaal											20

9.7. Consortium

- Universiteiten en hogescholen: VU
- Onderzoeksinstituten/ publieke kennisinstellingen: Universitair Medische Centra (UMCs), Rotterdams Oogheelkundig Instituut, TNO
- Bedrijven: DEMCON, CHDR, SFDEye (io), Sioux Technologies, Unitron, Hittech Multin

10. Med-IPUT – PICs voor ultrasound imaging

10.1. Doel project

Het programma richt zich op de ontwikkeling van Integrated Photonic Ultrasound Transducers (IPUTs) als nieuwe generatie ultrageluid-transducenten voor medische echografie. Deze technologie combineert optische interferometrie op chipniveau met in silicium ge-etste micromembranen. Het doel is om de gevoeligheid van de ultrageluiddetectie met een factor 20 tot 100 te verbeteren ten opzichte van de huidige piëzo-elektrische transducers. Dit leidt tot aanzienlijk scherpere beeldresolutie en het kunnen afbeelden van dieper gelegen weefsels in het lichaam. De diagnostische waarde van medische echografie neemt hierdoor sterk toe.

10.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

Huidige piëzo-elektrische technologie heeft zijn fysische limiet bereikt. De behoefte aan hogere resolutie en dieper doordringende echobeelden is groot, onder meer in de oncologie, cardiologie en neurologie. Daarnaast stimuleert de opkomst van geïntegreerde fotonica de toepassing van optische sensoren op chipniveau. Maatschappelijk en economisch sluit dit aan bij missiegedreven gezondheidszorginnovaties, gericht op vroege diagnose, kostenreductie, en versterking van halfgeleider- en medtech-sector.

10.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

Het programma adresseert kennisvragen op drie niveaus:

1. Hoe kunnen optische interferometrische detectiestructuren worden geïntegreerd met zendarrays zoals micro-elektromechanische membranen voor ultrasone transmissie en detectie?
2. Hoe kunnen optische en elektronische signaalversterking, ruisonderdrukking en interfacing worden geoptimaliseerd met innovatieve hybride chiparchitecturen?
3. Hoe kan de technologie robuust en schaalbaar en commercieel aantrekkelijk worden geproduceerd voor medische instrumentatie en industriële toepassingen?

10.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

De verwachte marktgroei voor medische echografie bedraagt meer dan 7% per jaar, met een wereldwijd marktvolume boven 7 miljard euro. Een IPUT-platform met superieure resolutie kan Nederland een unieke positie geven in sensortechnologie, waardoor nieuwe bedrijvigheid ontstaat in de medische en industriële sector. Voor de productie en integratie van de IPUT-technologie in producten kan gebruik gemaakt worden van het sterke Nederlandse industriële netwerk op het gebied van geïntegreerde fotonica. Maatschappelijk draagt de technologie bij aan betere en vroegere diagnose, minder invasieve zorg en lagere



zorgkosten. De ontwikkeling sluit aan bij de KIA Sleuteltechnologieën en de Gezondheid & Zorg-missie van het missiegedreven innovatiebeleid, met nadruk op digitale en fotonische oplossingen voor gezondheid en veiligheid.

10.5. Aanpak

Het programma versnelt IPUT van labdemonstrator naar klinisch gereede subsystemen door design-optimalisatie, integratie, validatie en industrialisatie.

WP1 Systeemarchitectuur en modellering, jaar 1–2

Multiphysische modellen van membraan en geïntegreerde fotonica, ruis en NEP, ontwerpregels voor MZI en ringresonatoren, ontwerp van optische hybride chip-integratie en fiber-chipkoppeling. Doel, specificaties en verificatieplan, zie arxiv.org.

WP2 Materialen en fabricage, jaar 1–4

Procesvensters op SOI en SiN, wafer-level membraanproductie, variatie-reductie. Prototype-runs met metrologie en yield-analyse. Zie ook cris.vtt.fi.

WP3 Packaging en betrouwbaarheid, jaar 2–6

Robuustheid van elektrische en fiber-chip koppelingen, hermetische behuizing, thermo-mechanische stabiliteit, biocompatibele en akoestische interfaces, optische en elektronische interfaces. Versnelde levensduurtesten.

WP4 Elektronica en signaalverwerking, jaar 2–5

Analoge front-ends, laser-stabilisatie, optische demodulatie, ruisonderdrukking, real-time beamforming. Interfacing met bestaande echo-platforms.

WP5 Arrays en systeemintegratie, jaar 3–6

Opschalen naar 1D/2D-arrays, integratie zend en ontvangstfunctie, gecombineerde US en PA-modi, koppeling met beeldvormingssoftware. Integratie in bestaande echoapparatuur cordis.europa.eu

WP6 Validatie in relevante omgeving, jaar 4–7

Preklinische validatie op fantomen en ex-vivo modellen, vergelijking met state-of-the-art piëzo-arrays op resolutie en penetratiediepte. Doel, TRL 6 systeemdemonstratie. cordis.europa.eu+1

WP7 Klinische en regulatoire voorbereiding, jaar 5–9

Risicomanagement volgens ISO 14971, biocompatibiliteit, electrical safety en EMC-vorbereiding, klinische evaluatieplan, route naar CE.

WP8 Keten en valorisatie, jaar 1–10

Valorisatie strategie via spin-off, supply-chain voor wafers, packaging en assemblage, IP-strategie, standaarden, businesscases met medtech-OEMs en NDT/semicon-spill-overs.

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1. Systeemarchitectuur en modellering	1	x	x								
2. Materialen en fabricage	2	x	x	x	x						
3. Packaging en betrouwbaarheid	1		x	x	x	x	x				
4.Elektronica en signaalverwerking	2		x	x	x	x					
5.Arrays en systeemintegratie	2			x	x	x					
6.Validatie in relevante omgeving	1				x	x	x	x			
7.Klinische en regulatoire voorbereiding	1					x	x	x	x	x	
8. Keten en valorisatie	2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

10.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
1. Systeemarchitectuur en modellering	1	0,7	0,3

2. Materialen en fabricage	2	1,4	0,6
3. Packaging en betrouwbaarheid	1	0,7	0,3
4. Elektronica en signaalverwerking	2	1,4	0,6
5. Arrays en systeemintegratie	2	1,4	0,6
6. Validatie in relevante omgeving	1	0,7	0,3
7. Klinische en regulatoire voorbereiding	1	0,7	0,3
8. Keten en valorisatie	2	1,4	0,6
Programma Totaal	12	8,4	3,6

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen	0,2	0,4	0,4	0,6	0,6	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	3,6
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen	0,4	0,9	0,9	1,4	1,4	0,9	0,9	0,7	0,5	0,4	8,4
Totaal	0,5	1,3	1,3	2,0	2,0	1,3	1,3	1,0	0,7	0,5	12,0

10.7. Consortium

- **Universiteiten en hogescholen:** TU Eindhoven, TU Delft, Utwente, ErasmusMC, LUMC
- **Onderzoeksinstituten/ publieke kennisinstellingen:** TNO, VTT (Finland)
- **Bedrijven:** PHIX, Kaminari Medical, PA Imaging, Philips N.V., Vermon S.A. (Frankrijk), Xiver

11. Advanced laser sources on chip

11.1. Doel project

Deze PPS richt zich op de ontwikkeling van een nieuwe generatie optische metrologiesystemen voor 3D-nano- en fotonische structuren, gebaseerd op geïntegreerde lichtbronnen, fysisch-informerende modellering en AI-gestuurde reconstructie. Het programma beoogt een flexibel en schaalbaar metrologisch platform te realiseren dat vorm, structuur en materiaaleigenschappen op nanoschaal betrouwbaar kan meten binnen productie- en onderzoeksomgevingen. Kerninnovaties zijn geïntegreerde frequentie-combs als compacte lichtbron, model-based reconstructie van nanostructuren (zoals CFET's en nanosheets), en software-toolboxen voor inverse modellering.

11.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

De drijfveer achter deze ontwikkeling is de snelle transitie naar 3D-nano-architecturen in de halfgeleiderindustrie en de behoefte aan hogere precisie en lagere kosten in metrologie. Terwijl de krimp van kritische dimensies afvlakt, neemt de complexiteit van devices sterk toe. Bestaande meetmethoden schieten tekort voor volumetrische structuren onder 10 nm. Tegelijk biedt de opkomst van integrated photonics en AI-ondersteunde data-analyse nieuwe mogelijkheden om nauwkeurigheid, snelheid en compactheid te combineren. Maatschappelijk sluit dit aan bij de Europese ambitie om technologische autonomie te versterken en duurzame productie-innovaties te stimuleren via *High-Tech Systems and Materials* en de *Photonics & Semiconductors*-agenda's.

11.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

Het programma adresseert fundamentele kennisvragen op vier fronten:

1. Hoe kunnen licht-materie-interacties op nanoschaal betrouwbaar worden gemodelleerd voor complexe 3D-geometrieën?
2. Welke algoritmen voor inverse modellering en generatieve reconstructie leveren fysisch consistente resultaten met minimale trainingsdata?
3. Hoe kan een frequentie-comb op chip worden gerealiseerd met voldoende vermogen, stabiliteit en spectrale bandbreedte (≥ 300 nm in het zichtbare bereik)?
4. Hoe kan deze technologie geïntegreerd worden in industriële meetinstrumenten met reproduceerbare kalibratie en lage kosten?

11.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

Het programma versterkt de Nederlandse positie in de waardeketen van high-tech systemen en geïntegreerde fotonica door nieuwe technologie voor optische metrologie en lichtbronnen te ontwikkelen. De overgang naar 3D-nano-architecturen in de halfgeleiderindustrie maakt



bestaande meetmethoden ontoereikend. Nieuwe oplossingen zijn noodzakelijk om nauwkeurigheid, snelheid en kostenefficiëntie te behouden. De PPS ontwikkelt hiervoor geavanceerde reconstructie- en kalibratietechnieken in combinatie met compacte, breedbandige lichtbronnen op chipbasis.

Economisch levert dit programma directe kansen op in halfgeleider- en fotonica-sectoren die wereldwijd sterk groeien. De markt voor metrologie en inspectie in de halfgeleiderindustrie bedraagt in 2024 circa USD 9,8 miljard en groeit naar ongeveer USD 18,7 miljard in 2034 (CAGR $\approx$ 6,9 %) [bron: gminsights.com]. De markt voor geïntegreerde fotonische componenten groeit nog sneller, van ongeveer USD 14,6 miljard in 2024 naar USD 98,6 miljard in 2034 (CAGR $\approx$ 21 %) [bron: gminsights.com]. De combinatie van deze domeinen creëert nieuwe exportkansen voor Nederlandse bedrijven in meetinstrumentatie, geïntegreerde lichtbronnen en AI-gestuurde data-analyse.

De verwachte economische impact bestaat uit nieuwe product- en licentie-inkomsten, exportgroei en hogere toegevoegde waarde in de Nederlandse high-tech keten. Op termijn kan de PPS leiden tot tientallen miljoenen euro's extra omzet uit hoogwaardige metrologie- en fotonica-systemen en de creatie van nieuwe R&D- en productiebanen. Door de integratie van technologieën worden bovendien kostenreducties van 30–50 % verwacht ten opzichte van huidige oplossingen.

Maatschappelijk draagt het programma bij aan duurzame en veilige digitale infrastructuren. Precisie-metrologie maakt energie-efficiëntere en betrouwbaardere elektronica mogelijk, met een kleinere materiaal- en energie-footprint per chipnode. Daarnaast versterkt het programma de Europese strategische autonomie in sleuteltechnologieën, doordat cruciale kennis over licht-materie-interactie, fotonica en metrologie binnen Europa behouden blijft. De PPS sluit daarmee aan op nationale en Europese missies gericht op sleuteltechnologieën, fotonica en high-tech systemen.

11.5. Aanpak

Het programma verenigt twee sporen in één keten: kortegolf-metrologie voor 3D-nano, en geïntegreerde lichtbronnen op chip voor compacte, stabiele en betaalbare instrumentatie. De lijn is van proof-of-concept naar pilot-toepassing in HVM-nabije omgevingen, met duidelijke TRL-stappen.

WP1 - Lichtbronnen op chip

Ontwerp en fabricage van microcomb-bronnen met voldoende bandbreedte, vermogen en stabiliteit, inclusief OEO-architecturen en integratie met SiN-resonatoren. Mijlpaal: TRL 3→5 via functionele prototypes en stabiliteitsmetingen.



WP2 - Model-based inference en AI

Fysisch geïnformeerde inversie, signaalvorming en generatieve reconstructie voor 3D-geometrieën, gevalideerd op standaardtargets. Mijlpaal: referentie-toolbox met onzekerheidsraming, inzetbaar in experimentele opstellingen.

WP3 - Kortegolf-metrologieconcepten

EUV, soft-X-ray en lensless benaderingen voor volumetrische metingen, inclusief bron- en detectorselectie en tomografische reconstructie. Mijlpaal: TRL 2-3→4 met systeemdemonstraties op lab-opstellingen.

WP4 - Kalibratie en targets

Ontwikkel kalibratiedoelen, procedures en traceerbaarheid naar standaarden voor 3D-structuren. Koppeling met WP2 voor modelvalidatie en bias-controle.

WP5 - Systeemintegratie en pilots

Integratie van WP1-4 in experimentele instrumenten. Vergelijkende metingen met HVM-referentiesystemen en inline scenario's. Mijlpaal: TRL 5-6.

WP6 - Industrialisatiepad en test- en meetstandaarden

Samen met MEKOPP/PITC-netwerken en industriële partners: DfX, onderhoudsconcepten, testkostenreductie, de-risking voor pilotlijnen van PIC's en 3D-nano. Mijlpaal: TRL 6-7 roadmap, supply-chain en validatieprotocollen.

WP7 - Programmasturing en ethiek-by-design

Beheer, IP-strategie, normering en dataveiligheid. Externe adviesraad industrie, instituten.

Type onderzoek per thema

- Lichtbronnen op chip: experimenteel en toegepast onderzoek, TRL 3-5.
- 3D-nano kortegolf-metrologie: experimenteel onderzoek, TRL 3-4.
- Inversie-algoritmen en toolbox: industrieel onderzoek waar het de integratie met productielijnen betreft, toegepast in WP5-6.
- HVM-referentiemetingen met YieldStar: referentie en benchmark, geen ontwikkelobject, TRL 9.

Samenhang in één programma

WP1 levert stabiele on-chip lichtbronnen die in WP3 de kortegolf-metrologie en in WP5 de geïntegreerde instrumenten voeden. WP2 levert de reconstructiesoftware die data uit beide

sporen omzet in betrouwbare 3D-metingen. Zo ontstaat één PPS, van bron tot metrologisch resultaat, met een uniform TRL-pad richting pilot-inbedding in de industrie.

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd							2033	2034	2035
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032			
1. Lichtbronnen op chip	4	x	x	x	x						
2. Model-based inference en AI	3	x	x	x	x						
3. Kortegolf-metrologieconcepten	2.5	x	x	x							
4. Kalibratie en targets	2			x	x	x					
5. Systeemintegratie en pilots	4				x	x	x				
6. Industrialisatiepad en test- en meetstandaarden	3					x	x				
7. Programmasturing en ethiek-by-design	1.5	x	x	x	x	x	x				

11.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
1. Lichtbronnen op chip	4	2	2
2. Model-based inference en AI	3	1.5	1.5
3. Kortegolf-metrologieconcepten	2.5	1.25	1.25
4. Kalibratie en targets	2	1	1
5. Systeemintegratie en pilots	4	2	2
6. Industrialisatiepad en test- en meetstandaarden	3	1.5	1.5
7. Programmasturing en ethiek-by-design	1.5	0.75	0.75

Programma Totaal	20	10	10
------------------	----	----	----

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen	1	2	2	2	2	1					10
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen	1	2	2	2	2	1					10
Totaal	2	4	4	4	4	2					20

11.7. Consortium

Bedrijven: ASML (3D-metrologie), Nearfield Instruments (AFM, IR-AFM), SMART Photonics (metrology on chip), Effect Photonics (metrology on chip), VDL, AIM solutions (lensless imaging), NXP, Mitutoyo Research Center Europe, DEMCON, SIOUX, InviSIX (soft X-ray metrologie), Avantes (spectroscopie), Anteryon, IMEX, Menlo Systems.

Kennisinstellingen: TUDelft, TUEindhoven, UniversiteitTwente, TNO, AMOLF, ARCNl.

Overheid: Ministerie EZK, RVO, Europese Commissie.



12. Teratom

12.1. Doel project

Ontwikkeling van een niet-destructieve, snelle en in-line meetmethode voor halfgeleiderwafers op basis van terahertz (THz) tomografie. Het doel is om materiaaleigenschappen, zoals doping, ladingsmobiliteit en laagdikte, per diepte en positie te karakteriseren. De beoogde uitkomst zijn TRL 6–7 prototypes voor industriële toepassing in use cases dat de productieopbrengst (yield) van heterogene en 2D halfgeleiders verhoogt, door kwaliteitscontrole mogelijk te maken vóór verdere processtappen.

Een deel van het laag-TRL onderzoekswerk is gefinancierd door een lopend NWO NXTGEN Hightech open-call project. De uitdaging is industrialisatie van TRL 4-5 constructen.

12.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

Technologisch

Behoefte aan in-line metrologie die onderliggende lagen in heterogene systemen kan karakteriseren, waar huidige technieken beperkt of destructief zijn.

Economisch

Verbetering van de yield van 40–80% naar richting 98%, wat directe kostenbesparing en concurrentievoordeel oplevert voor foundries.

Maatschappelijk

Vermindering van materiaalverspilling (18–60% minder verbruik van schaarse materialen) en energieverbruik in chipproductie.

Strategisch

Versterking van de Nederlandse positie in het semicon-ecosysteem en vermindering van afhankelijkheid van buitenlandse metrologietechnologie.

12.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

- Hoe kan THz-tomografie worden toegepast om laagdikte en doping van InP/InGaAsP-structuren in fotonische geïntegreerde circuits (Smart Photonics) in-line te meten?
- Op welke wijze kan de technologie worden ingezet voor kwaliteitscontrole van GaN/InGaN-wafers in solid-state lighting en high-power elektronica (Lumileds, AIXTRON)?
- Kan THz-tomografie de productiesnelheid en yield van SiNx-MEMS-wafers verbeteren door defectdetectie tijdens groei (Bronkhorst)?



- Hoe kunnen 2D-materialen (Black Semiconductors) worden gekarakteriseerd op uniformiteit en laaghechting zonder destructieve tests?
- Welke systeemarchitectuur en kalibraties zijn nodig om de prototype-instrumentatie te koppelen aan bestaande wafer-scanners en meetstandaarden (VSL, IMS)?
- Hoe kan in-line optische metrologie worden gecombineerd met THz-tomografie voor de karakterisatie van complexe heterogene systemen op een chip (TeraNova)?

12.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

Verdienvermogen

Nieuwe THz-tomografiemethode verhoogt yield van heterogene halfgeleiders van 40–80 % naar richting 98 %. Dit verlaagt productiekosten met circa 15 %, versnelt throughput en vermindert afkeur. Ontwikkeling van TRL 6–7-prototype leidt tot nieuwe metrologiemachines en modules voor OEM's (IMS, TeraNova) en foundries (Smart Photonics, Lumileds, BS). Verwachte dealflow > € 5 mln/jaar, vervolginvesteringen > € 7 mln. Nederland verstevigt zijn positie in *semicon equipment for heterogeneous integration* en vergroot exportpotentieel van high-tech metrologie.

Maatschappelijke uitdagingen

Reductie van materiaalverspilling met 18–60 % en energieverbruik > 20 % door minder herhaaltappen en destructieve tests. Lagere CO₂-uitstoot en chemisch afval, hogere efficiëntie van grondstofgebruik. Technologie ondersteunt Europese *strategische autonomie* in metrologie en versterkt duurzame productiecapaciteit in de halfgeleiderketen.

Aansluiting met bestaande missies

Sluit aan bij NXTGEN Hightech, domein *Semicon equipment for heterogeneous integration*, en bij de KIA Sleuteltechnologieën via *optica*, *optomechatronica*, *semiconductor devices* en *systems engineering*. Draagt bij aan de Missiegedreven Innovatieagenda's voor *Duurzame industrie*, *Veilig en digitaal Europa* en *Gezondheid en technologie*. Positioneert Nederland als koploper in duurzame en autonome chipproductie.

12.5. Aanpak

Het programma ontwikkelt in samenhang wetenschap, technologie en industriële toepassing van terahertz-(THz) tomografie voor niet-destructieve karakterisatie van heterogene halfgeleiders. De looptijd is vijf jaar, met focus op kennisopbouw, prototypeontwikkeling en industriële validatie.



Het programma is opgebouwd uit vijf werkpakketten (WP1–WP5), die parallel en in wisselwerking worden uitgevoerd door universiteiten (TU/e, ARCNL, Saxion) en industriële partners (IMS, TeraNova, Smart Photonics, ANL, AIXTRON, VSL, Bronkhorst).

WP1 – Fundamenteel onderzoek naar THz-materie-interactie

Onderzoek naar fysische mechanismen van THz-interactie met meerlagige en 2D-systemen. Ontwikkeling van modellen voor ladingsdichtheid, mobiliteit, levensduur en brekingsindex als functie van diepte. Resultaten leveren de fysische basis voor tomografische reconstructie.

WP2 – Systeemontwerp en engineering van prototype

Vertaling van wetenschappelijke inzichten uit WP1 naar een systeemarchitectuur. Ontwerp van optomechatronisch meetplatform, laser- en THz-modules, kalibratie en data-analyse. Integratie van AI-gestuurde modellering en inverse-fitting voor snelle karakterisatie.

WP3 – Validatie en industriële demonstratie

Testen van het TRL 6–7-prototype op representatieve wafers (InP/InGaAsP, GaN/InGaN, SiNx, 2D-lagen). Vergelijking met bestaande metrologiemethoden (CV-profiler, Hall-metingen). Vastlegging van prestaties in snelheid, resolutie en nauwkeurigheid.

WP4 – Opschaling en use-cases

Samen met de industrie zullen een aantal representatieve en verschillende use-cases worden geselecteerd om de industriële demonstratie ook in een representatieve omgeving of sector te realiseren, zoals chip foundries en materiaalkundige analyselijnen.

WP5 – Projectmanagement, disseminatie, opleiding en valorisatie

Verspreiding van kennis via publicaties, workshops en een industrieel gebruikerscomité. Opleiding van onderzoekers en ingenieurs, voorbereiding van patentaanvragen en begeleiding van use cases voor opschaling naar de industrie.

De samenhang tussen WP1–WP3 zorgt voor de wetenschappelijke en technologische doorontwikkeling, terwijl WP4 en WP5 borg staan voor uitvoering, overdracht en valorisatie. Het resultaat is een volledig gevalideerde THz-tomografie-technologie die in een industriële omgeving kan worden toegepast voor snelle en duurzame wafer-inspectie.

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1. FO THz-materie-interactie	0,5	x	x								
2. Systeemontwerp	1,5		x	x							
3. Validatie en industriële demonstratie	2,5		x	x	x						
4. Use cases	3		x	x	x	x					
5. PM, Disseminatie, opleiding en valorisatie	0,5		x	x	x	x	x				

12.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
1. FO THz-materie-interactie	0,5	0,35	0,15
2. Systeemontwerp	1,5	1,05	0,45
3. Validatie en industriële demonstratie	2,5	1,75	0,75
4. Use cases	3	2,1	0,9
5. Projectmanagement, disseminatie, opleiding en valorisatie	0,5	0,35	0,15
Programma Totaal	8	5,6	2,4

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal

Bestaande activiteiten/ bestaande middelen (niet meetellen)	0,5	0,7	0,6	0,5	0,5	0,1					2,9
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen	0,2	0,53	0,53	0,53	0,51	0,1					2,4
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen	0,5	1,25	1,25	1,25	1,25	0,1					5,6
Totaal nieuwe activiteit	0,7	1,78	1,78	1,78	1,76	0,2					8

12.7. Consortium

- **Kennisinstellingen:** TU/e (Applied Physics, Electrical Engineering), ARCNL, Saxion University of Applied Sciences
- **Bedrijven:** IMS, TeraNova, AIXTRON (Duitsland), VSL, Smart Photonics, Black Semiconductors (BL), Bronkhorst High-Tech
- **Overige/ ondersteunende partijen:** Stichting Universiteitsfonds Eindhoven

Karakter van de samenwerking

Het consortium vertegenwoordigt de volledige waardeketen van de halfgeleiderindustrie:

- **Kennisontwikkeling** (TU/e, ARCNL, Saxion)
- **Technologieontwikkeling en prototyping** (TeraNova, IMS)
- **Materiaal- en procesleveranciers** (AIXTRON, Smart Photonics, BS, Bronkhorst)
- **Validatie en standaardisatie** (VSL)

De samenwerking is ingericht als een publiek-private PPS waarin kennisinstellingen het fundamentele en toegepaste onderzoek uitvoeren, en bedrijven zorgen voor validatie, integratie en markttoepassing.

13. Quantum optiek: Sensors testbed

13.1. Doel project

Het programma richt zich op de ontwikkeling van optische en fotonische technologieën voor kwantumtoepassingen. Doel is het versterken van het Nederlandse ecosysteem rond kwantumtechnologie, in nauwe aansluiting bij Quantum Delta NL. Binnen dit ecosysteem worden kwantumcomputers, -netwerken en -sensoren ontwikkeld, getest en naar de markt gebracht. De nadruk ligt op het benutten van optische componenten – van geïntegreerde fotonische circuits tot single-photon detectors – als sleuteltechnologieën die deze toepassingen mogelijk maken. De ontwikkelactiviteiten beogen een solide infrastructuur, versnelling van technologische ontwikkeling en de opschaling naar commerciële implementatie.

13.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

Maatschappelijk

Veilige communicatie, betere diagnostiek, nauwkeurige metingen in zorg, energie en veiligheid.

Economisch

Nieuwe waardeketens, exportpositie en hoogwaardig werk.

Technologisch

Nederland kan zijn sterke posities in geïntegreerde fotonica en systeemintegratie verzilveren door optica als enabling laag voor kwantumtoepassingen te industrialiseren. Urgentie volgt uit mondiale versnelling; uitstel kost talent, investeringen en strategische positie.

13.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

- Hoe realiseren we verliesarme, herconfigureerbare PIC-componenten voor kwantumfunctionaliteit.
- Hoe maken we stabiele enkele en verstrengelde fotonbronnen op chip.
- Hoe bereiken we ultra-lage ruis en hoge efficiëntie in single-photon detectie.
- Hoe koppelen we microgolf en optica voor schaalbare systemen.
- Hoe integreren we optische subsystemen in robuuste sensing-opstellingen.

13.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

Quantum Delta NL mikt op 2.500 studenten, 2.000 PhD's/ingenieurs, 25 topwetenschappers, 100 startups en 100 patenten per jaar, plus €766 mln private co-investeringen. Een orde-



schatting is dat optica-activiteiten circa 10% van deze output vertegenwoordigen. De bijdrage aan verdienvermogen zit in export van componenten, systemen en diensten; maatschappelijk in efficiëntere geneesmiddelenontwikkeling, betrouwbare communicatie en precisiesensing in o.a. zorg en logistiek.

13.5. Aanpak

WP1 – Fundament en infrastructuur (jaar 1-2)

Opzetten van testbeds, gemeenschappelijke ontwerp-/fabricage-infrastructuur, valideren van basistechnologieën (verliesarme PIC, eerste fotonbronnen, detectorintegratie).

WP2 – Technologieversnelling en componentintegratie (jaar 2-4)

Integratie van bronnen, modulators, detectors op chip, transductie-modules, benchmarking TRL4→5.

WP3 – Pilot-systemen en demonstratie (jaar 4-6)

Opschaling naar systeemniveau demonstrators ("mini-cocktails" van bron-PIC-detector), validatie in relevante omgeving (proof-in-context).

WP4 – Industriële opschaling en standaardisatie (jaar 5-8)

Overgang naar productieplatforms, samenwerking met foundries, kwaliteitsnormen, voorbereiding op marktintroductie.

WP5 – Commercialisatie en valorisatie (jaar 7-10)

Ontwikkeling businessmodellen, marktaanbod, exportstrategie, maatschappelijke toepassing (zorg, veiligheid, sensing) en training van talent.

De aanpak verloopt gefaseerd: eerst technologie-risico's reduceren, dan integratie, vervolgens opschaling en markt. Elk WP kent deliverables en knooppunten (go/no-go) aan het einde van fase. Samenwerking met startups, scale-ups, kennisinstellingen en industrie is structureel ingebed vanaf WP1.

Het programma is afgestemd op het grotere ecosysteem (bijv. Photon Delta) en op nationale missies voor geïntegreerde fotonica en kwantumtechnologie. Door deze fasering wordt de overgang van experimenteel onderzoek naar industrieel toegepast onderzoek mogelijk gemaakt, met het oog op marktintroductie binnen de looptijd.

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.Fundament en infrastructuur	4	x	x								
2. Technologieversnelling en componentintegratie	5		x	x	x	x					
3. Pilot-systemen en demonstratie	5				x	x	x				
4. Industriële opschaling en standaardisatie	4					x	x	x	x		
5. Commercialisatie en valorisatie	2							x	x	x	x

13.6. Financiering

Omvang programmakosten

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
1. Fundament en infrastructuur	4	4	0
2. Technologieversnelling en componentintegratie	5	5	0
3. Pilot-systemen en demonstratie	5	3	2
4. Industriële opschaling en standaardisatie	4	2	2
5. Commercialisatie en valorisatie	2	1	1
Programma Totaal	20	15	5

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											

Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen	0	0	0	0	0,9	0,9	0,6	0,6	1	1	5
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen	1	1	2	2	2,1	2,1	1,4	1,4	1	1	15
Totaal	1	1	2	2	3	3	2	2	2	2	20

13.7. Consortium

Bedrijven: Startups/scaleups: QUIX, QPHOX, Optics Foundry, Qubic, Aluvia, Single Quantum. Partners van QD-NL: Intel, Fujitsu, Eurofiber en Juniper Networks, Telefonica, SURF, Fermioniq, Saxion, HHS, LiS, Hogeschool Amsterdam, Fontys Eindhoven.

Kennisinstellingen: QuSoft (University of Amsterdam en CWI), TU Delft, Universiteit Leiden, TU/e, Universiteit Twente, TNO

Overig: TechLeap, Braventure, NanolabNL, MinacNed, NanoNextNL.

14. Pioneer

14.1. Objectives

Objective 1: Facilitate policy alignment and support P&Q diffusion

- Create a shared, region-endorsed vision for P&Q to serve as the foundation of a PIONEER Regional Innovation Valley
- Design a modular ecosystem-support framework that can be transferred between regions, including the annual work programme, inter-regional funding programmes, policy measures for standards and regulation, procurement and innovation-support structures
- Develop and implement procedures to coordinate the regional activities within annual work programmes
- Scale and mainstream successful models with other regional initiatives and complementary ecosystems

Objective 2: Interconnect ecosystems through collaborative activities

- Establish an awareness and knowledge-transfer network to build entrepreneurial spirit in academia, foster technology openness in companies, and equip policymakers and the public with the foresight needed to support P&Q
- Facilitate the uptake and knowledge transfer of P&Q into the industry by creating an inter-regional talent pipeline, strengthening SME absorptive capacity and developing a shared infrastructure access programme
- Enhance place-based social cohesion and foster peer learning within the participating regions
- Launch tech-to-market activities including interactive online courses and a dedicated venture-building programmes
- Facilitate ecosystem twinning including the build up of inter-regional value chains, targeted matchmaking and the fostering of new R&D collaborations

Objective 3: Implement Joint Innovation Actions - Financial Support for new P&Q technologies

- Develop impactful end-user scenarios that respond to concrete industry and societal needs and can act as lighthouse examples for joint innovation projects
- Implement several calls for inter-regional innovation actions that include multiple regions on shared topics of interest and support the funded projects
- Use the FSTP funding to complement the other activities of PIONEER
- Establish and pilot procedures to incorporate the ability of implementing joint calls in the regions, even after the PIONEER project ended

Objective 4: Ensure long-term legacy

- Establish procedures of cooperation and preserve these within public knowledge assets

- Follow the pathway to increase the innovation capacity of the participating regions through the diffusion of P&Q in for the regions relevant application fields
- Build the Brand & motivate regional stakeholders to have the intrinsic motivation to work together
- Secure means for the continuity of PIONEER and continue enlarging the RIV with identified key regions and expertise

14.2. Drivers for the development envisioned

Quantum technologies are increasingly recognised as a general-purpose technology with the potential to transform multiple industries and daily life. Comparable to semiconductors and the internet, applications span computing, communication, sensing, and cryptography, with spillovers to defence, energy, and health, among multiple other sectors which are being revolutionized by Quantum-based technologies. Optical systems and integrated photonics play a crucial role in winning the race for quantum computing, as they provide the scalable, low-loss, and ultrafast platforms necessary for manipulating and interconnecting quantum bits with high fidelity. The ability of photonic circuits to coherently control and transmit quantum information at room temperature, combined with their compatibility with existing semiconductor manufacturing processes, makes them indispensable for realizing practical, large-scale quantum processors and secure quantum networks. Variational quantum eigensolvers, allowing for the simulation of molecules at atomic precision, have drastically accelerated the discovery of new drugs for cancer and neurodegenerative diseases and enabled the design of next-generation batteries for electric vehicles and renewable energy storage; quantum key distribution networks have been used as inputs to enhance security levels of online banking transactions and governmental communications beyond traditional cryptography, while NV-centre diamond sensors and cold atom interferometers have improved non-invasive medical imaging techniques by strengthening ultrasensitive detection methods. These are just a few examples of how Quantum technologies have a major and long-lasting impact on innovation, economic development and ultimately in the lives of European and world citizens.

14.3. Knowledge questions addressed

This is an ecosystem development project.

14.4. Impact on earning capacity and contribution to societal challenges

Europe's possible failure in taking the lead in such a critical deep tech sector as Quantum put it at high risks of dependence on non-EU suppliers, ultimately undermining its technological sovereignty, its strategic autonomy in sensitive value chains and its overall economical competitiveness. Addressing these risks has become the cornerstone of EU strategic priorities when it comes to technology innovation, as recognised by the Startup & Scaleup Strategy or the New European Innovation Agenda.

By combining horizontal ecosystem measures with large-scale interregional innovation actions implemented through cascade funding, PIONEER will decisively drive the conversion of Europe's quantum scientific lead into tangible market outcomes—bridging regions, crowding in private investment, and accelerating the emergence of cross-border quantum value chains and innovation ecosystems across Europe.

14.5. Approach

The approach is similar to the objectives mentioned.

Objective	Size (MEUR)	Throughput time									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1. Objective 1	0,5	x	x								
1. Objective 2	1		x	x	x						
1. Objective 3	0,5				x	x					
1. Objective 4	0,5					x	x				

14.6. Finance

This project will be financed by H2020, with an additional 0,5mlnE of private funding.

Table 1: Indication of the cost per work package related to source

Work package	Cost Total (MEUR)	Public (MEUR)	Private (MEUR)
1. Objective 1	0,5	0,5	0
1. Objective 2	1	0,5	0,5
1. Objective 3	0,5	0,5	0
1. Objective 4	0,5	0,5	0
Programma Totaal	2,5	2	0,5

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/	0,41	0,41	0,41	0,41	0,45	0,41					2,5

bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen											
Totaal	0,41	0,41	0,41	0,41	0,45	0,41					2,5

14.7. Consortium

IQ, BOM, Oost-NL, PhotonicsNL, NXUS, Wederic, 4TU federation (represented by TU Delft).

15. H2 sensing

15.1. Doel project

In dit project gaat het om ontwikkeling van wereldwijd unieke technieken waarmee direct een 'control-point' kan worden verworven. Het doel is om de veiligheid in de volledige H₂-keten (productie, opslag, transport en eindgebruik) te vergroten door ontwikkeling van nieuwe sensortechnologieën. Bestaande conventionele elektrische sensoren zijn onvoldoende om lekkages tijdig en precies te detecteren. Verwachte uitkomsten zijn sensorelementen die lekkages lokaliseren en kwantificeren, gekoppeld aan eindgebruikerservaring en vergunningseisen. Meetbare resultaten zijn o.a. demonstrators in de volledige waterstof (H₂) keten, inclusief cryogene opslag, transport en luchtvaarttoepassingen. Daarnaast validatie door eindgebruikers, zodat technologie breder toepasbaar is dan de huidige normen.

Het project richt zich op onderzoek en ontwikkeling van

- intrinsiek veilige optische sensoren,
- ingebedde monitoring van composieten tanks,
- cryogene detectie onder extreme omstandigheden,
- nieuwe optische oplossingen voor detectie en kwantificering van lekkages,
- pilots in productie, opslag en transport
- demonstrators voor luchtvaart en mobiliteit,
- validatie onder reële omstandigheden met eindgebruikers, waaronder cryogene opslag en composieten tanks.

15.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

De drivers zijn vooral energie en klimaat gerelateerd, maar ook veiligheid. De schaalvergroting in waterstofketens vraagt om nieuwe veiligheidsstandaarden. Het ontbreken van geschikte sensoren leidt tot risico's die niet door menselijke controle kunnen worden ondervangen. Zonder innovatie blijven vergunningen en implementaties belemmerd en ontstaan veiligheidsrisico's voor industrie en luchtvaart.

Optische sensoren en -meetsystemen kunnen bijdragen aan veiligheid en efficiëntie in de energietransitie – denk aan waterstofsensoren die grootschalige toepassing in de industrie en maatschappij mogelijk maken zonder veiligheidsrisico's. Dit zijn toepassingen in de gehele waterstofketen, gericht op het snel en nauwkeurig detecteren en kwantificeren van lekkages in productie, opslag, transport en eindgebruik.

15.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

Er is behoefte aan nieuwe kennis en inzichten m.b.t.

- Betrouwbare, niet-elektrische waterstofdetectie, onder cryogene omstandigheden - waar huidige sensoren falen.
- Geïntegreerde veiligheidssystemen die meerdere parameters tegelijk meten, omdat eindgebruikers kant-en-klare oplossingen willen.
- Voor cryogene vermogensoverdracht moeten sensoren onder extreme kou betrouwbaar temperatuur, stroom en stabiliteit monitoren om supergeleidende kabels veilig te maken.
- Het meten van vloeibaar waterstofniveau is lastig door de lage dichtheid en beperkte toegangspunten, wat vraagt om nieuwe, veilige meettechnieken.
- Verder zijn hoge-temperatuursensoren nodig die bestand zijn tegen $>600^{\circ}\text{C}$ bij productie- en opslagprocessen.
- Tot slot vormt gas-zuiverheidsbewaking een uitdaging, omdat de lage dichtheid en hoge reactiviteit van waterstof het moeilijk maken om de samenstelling nauwkeurig te analyseren.

15.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

Dit toepassingsgebied sluit aan bij energie-innovatie, luchtvaart en procesindustrie. Het versterkt nationale en Europese ambities rond waterstofveiligheid en draagt bij aan de integratie van meet- en opslagsystemen. Dit project sluit aan op 2 Groeimarkten en op Gericht Industriebeleid onder 'Innovatieve Chemie'.

De sensoriek zal na ontwikkeling, vrij snel toepasbaar zijn in onder meer:

- Vermogenstransformatoren: waterstof is een belangrijk gas dat ontstaat bij mogelijk gevaarlijke situaties zoals oververhitting, partiële ontlading en vonkvorming in transformatoren.
- Chemische industrie: gebruik van waterstof voor warmte, stoom en als reductiemiddel in de staalindustrie, en als duurzame chemische grondstof (zoals methanol en ammoniak), met een verwachte jaarlijkse groei met dubbele cijfers.
- Gebruik van waterstof als duurzame brandstof voor transport, waaronder scheepvaart, langeafstandstransport over de weg en luchtvaart.
- Waterstof als opslagmedium om de overgang naar hernieuwbare energie mogelijk te maken.
- Gedistribueerde waterstofdetectie in compressorkasten en waterstoftankstations.

Verdienvermogen richt zich op ontwikkeling en verkoop van essentiële componenten – zoals coatings, optische sensoren met kabels en uitleessystemen – aan aanbieders van lekdetectieoplossingen, die vervolgens complete leak detection monitoring systemen verkopen aan eindgebruikers. Groei van Europese waterstofinfrastructuur (de EHB of



Europese Hydrogen Backbone) vergroot het marktpotentieel, terwijl hogere productievolumes de kosten per sensor verlagen. Tegen 2030 zal b.v. de EHB 28.000 km pijpleidingen omvatten, oplopend tot 53.000 km in 2040, en de chemische sector verwacht een forse toename in gebruik van laag-koolstof-waterstof. Per halve kilometer pijpleiding in een chemische installatie is steeds een dergelijk systeem noodzakelijk, met een verkoopprijs van €20/m. Daarbovenop komt een terugkerende inkomstenstroom via jaarlijkse softwarelicenties, die klanten realtime inzicht en alarmfuncties bieden bij waterstofdetectie, wat in 2040 tot 110 mlnE omzet per jaar geeft.

15.5. Aanpak

De partijen werken samen in toepassingsgerichte projecten:

- Druk- en temperatuursensoren in waterstoftanks (UFS, Optics11).
- Sensoriek voor cryogene opslag (UFS, CryoWorld, GasUnie, Vopak, AirProducts).
- Embedded monitoring van composieten tanks (UFS, PhotonFirst).
- Toepassing in luchtvaart: retrofit vloeibaar H₂ in vliegtuigen (UFS, Conscious Aerospace, Airbus, NLR).
- Onderzoek naar supergeleidende kabels gekoeld met vloeibaar H₂ of helium (UTwente, UFS).

Werkpakketten zijn:

- Industrieel onderzoek (TRL 3, 4)
- Systeem definities en ontwerpen toepassingen (TRL 4)
- Gevoeligheidsverbetering fiber coatings t.b.v. metrologische functies (TRL4)
- Detectiefunctie fiberkabel en -uitleessysteem (TRL 4)
- Gevoeligheidsanalyse en technische, functionele, testen (TRL 4)
- Veldtesten met industriepartners voor diverse toepassingen (TRL 5)
- Ontwikkeling en testen toepassingen tot industrieel prototype (TRL 5)
- Communicatie, disseminatie
- Projectmanagement

Werkpakket	Omvang (kEUR)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1. Research incl cryogeen	595	x	x	x	x	x	x				

2. Sensor System Requirements	173	x	x	x							
3. H2 sensitive layer	640	x	x	x							
4. H2 leak detection fibre and cable	610	x	x	x							
5. System Sensitivity Analysis & Functional system tests	480	x	x	x	x						
6. On field measurements and testing	165			x	x						
7. Development use cases	761			x	x	x	x				
8. Communication, Dissemination and Exploitation	116	x	x	x	x	x	x				
9. Project Management	212	x	x	x	x	x	x				
Total	3753										

15.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (kEUR)	Publiek (kEUR)	Privaat (kEUR)
1. Research incl cryogeen	595	595	0
2. Sensor System Requirements	173	121	52
3. H2 sensitive layer	640	448	192
4. H2 leak detection fibre and cable	610	427	183

5. System Sensitivity Analysis & Functional system tests	480	336	144
6. On field measurements and testing	165	83	83
7. Development use cases	761	380	380
8. Communication, Dissemination and Exploitation	116	58	58
9. Project Management	212	127	85
Programma Totaal	3753	2576	1177

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (keUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen	118	205	414	201	115	124					1177
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen	313	582	875	376	238	192					2576
Totaal	431	786	1289	577	354	316					3753

15.7. Consortium

- **Universiteiten en hogescholen:** UTwente (Universiteit Twente), TU Delft
- **Onderzoeksinstituten/ publieke kennisinstellingen / overheidsorganisaties:** TNO, NLR (Nederlands Lucht- en Ruimtevaartcentrum), VSL (Nationaal Metrologisch Instituut), Min. I&W (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat)
- **Bedrijven:** UFS, Somni, GasUnie, Airbus, AirProducts, CryoWorld, PhotonFirst, Optics11, Vopak, Shell

16. Innovatieve PVA voor satellietconstellaties

16.1. Doel project

Het project richt zich op de verdere industrialisatie en schaalbare productie van Sparkwing, een zeer hoogwaardige zonne-array-product van Airbus Netherlands voor kleine en middelgrote satellieten. Binnen dit initiatief wordt de Sparkwing technologie doorontwikkeld tot een pilot-serieproductielijn inclusief de benodigde technieken, die als output meer dan 200 vleugels kan leveren voor de software-gedefinieerde satellieten van MDA Space, bedoeld voor de Telesat Lightspeed-constellatie. De nieuwe serieproductielijn dient betrouwbare, lichtgewicht en eenvoudig integreerbare zonnepanelen te kunnen produceren met minimale integratie-inspanning en maximale aanpasbaarheid aan verschillende satellietplatformen. Hiermee kan Sparkwing een technologisch fundament vormen voor de nieuwe generatie modulaire constellaties in een lage baan om de aarde (LEO). Met de serieproductielijn wordt zowel gericht op het toepassen en kwalificeren van alternatieve zonneceltechnologie (in het bijzonder hoog-efficiënte heterojunctie of tandem zonnecellen op basis van silicium) als op assemblagemethoden die een hogere mate van modulariteit en standaardisatie in de productie mogelijk maken, zoals door middel van het produceren van modules waarbij een beperkt aantal zonnecellen worden verbonden tot een halfproduct dat vervolgens weer als bouwsteen dient voor een te leveren voltooid product. Na afloop van het project heeft Nederland zelf de kennis en kunde in huis om op grote schaal zonnepanelen te produceren voor toepassing in eerste instantie in de ruimte, gevolgd door toepassing op de grond.

16.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

Bij zonnecel ontwikkeling geldt dat wat voor ruimtevaart toepassingen wordt ontwikkeld, vervolgens na een aantal jaar doorgaat naar aardse toepassingen. Zonnepanelen zijn daarom belangrijk voor de stroomvoorziening van satellieten en voor groene-stroom productie op land. De vraag naar zonnepanelen in de ruimte vervolgens groeit door de explosieve groei van het aantal satellieten. Voor grote constellaties is de capaciteit voor de productie van space-qualified hoog-efficiënte GaAs zonnecellen zoals die de laatste 20 jaar in gebruik zijn niet voldoende en bovendien zijn dergelijke cellen te duur voor het snelgroeiende segment van satelliet constellaties. Momenteel zijn zowel Nederland als de EU grotendeels afhankelijk van andere landen ook buiten de EU voor de toelevering van zonnepanelen. Het is een strategisch doel om minder afhankelijk te zijn bij de productie van zonnecellen en van de assemblage van PVA en om nieuwe cel technologie te introduceren die voldoende efficiënt is, een lager kostenniveau heeft en robuust gemaakt kan worden tegen de omstandigheden in de ruimte. En het aanbod van PhotoVoltaic Assemblies (PVA) die gekwalificeerd zijn voor de ruimtevaart, zijn op dit moment zeer schaars en duur. Toepassing van nieuwe cel- en assemblage technologieën in een lijn die in Nederland wordt opgezet verbetert daarom de concurrentiepositie van Nederland voor de levering van zonnepanelen aan de globale ruimtevaartmarkt en vermindert onze afhankelijkheid van leveranciers buiten Europa.

16.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

De meest concurrerende oplossing zou worden bereikt als er geen speciale zonnecelproductie voor de ruimtevaart meer nodig is, maar zonnecellen van bestaande productielijnen voor aardse toepassing gebruikt kunnen worden, eventueel met kleine aanpassingen om de zonnecellen geschikt te maken voor de ruimtevaart. Er zal onderzocht worden in hoeverre deze zonnecellen bruikbaar zijn in de ruimtevaart waarbij met name gekeken wordt naar de extreme temperatuurvariaties in de ruimte, maar ook naar bijvoorbeeld UV-straling. Het handelt hier om hoog-efficiënte Si cellen (heterojunctie of eventueel tandem cellen). De zwakke plekken zijn met name te verwachten in de metallisatie, soldeer- en lijmverbindingen en het transparante laminaat. Vervolgens wordt gekeken met welke aanpassingen in het ontwerp en in het productieproces nodig zijn om de zonnecellen bestendig te maken tegen de omgevingsfactoren in de ruimte.

16.4. Impact verdienvermogen, maatschappelijke uitdagingen

Slagen van het project levert verdienvermogen op via hoge toegevoegde waarde (betrouwbaarheid/efficiëntie), premium levertijden, en terugkerende omzet uit test-, kwalificatie- en proces-IP, met marge gedreven door yield, doorlooptijd en gerichte automatisering. Eerste levering zou ruim 200 modulaire zonne-array-units ("wings") zijn voor de satellietlijn Sparkwing van Airbus Netherlands aan MDA Space Ltd. voor de constellatie Telesat Lightspeed. Het kunnen realiseren van een pilot-productielijn in Nederland voor dergelijk grote volumes (200 stuks) met zonneceloppervlak per unit van ruim 30 m² zorgt ervoor dat de Nederlandse maakindustrie klaar is voor dergelijke exportopdrachten in de ruimtevaartsector. Dit betekent meer werkgelegenheid, toeleverketen-spin-off en versterking van high-tech productiecapaciteit. Relevant, want de wereldwijde markt voor commerciële satellietconstellaties was in 2024 circa US\$ 14,38 mld en groeit naar US\$ 25,21 mld in 2029 (CAGR ca. 11,6 %)¹. Door deelname aan deze groeiemarkt kan Nederland een deel van dat groeipotentieel benutten.

Autonome productiecapaciteit voor PVA in de ruimte vergroot onze strategische onafhankelijkheid. De ontwikkeling ondersteunt voorts de opbouw van grootschalige satellietconstellaties die wereldwijd communicatienetwerken mogelijk maken, inclusief in moeilijk bereikbare of onderbediende gebieden. De ketenontwikkeling versterkt technologische zelfstandigheid en innovatiekracht in Nederland en Europa. De aansluiting met strategische missies zoals de "Digitale infrastructuur" en "Veerkrachtige samenleving" blijkt daaruit dat toegang tot betrouwbare wereldwijde connectiviteit en ruimte-infrastructuur als maatschappelijke doelstelling gelden (zie bijvoorbeeld nationale innovatieagenda). Nieuwe cel technologieën dringen het gebruik van milieubelastende processen en kritieke materialen terug die gepaard gaan met klassieke PVA-technologie. Hiervoor is veel germanium en gallium nodig wat onder exportrestricties van China valt.

¹ thebusinessresearchcompany.com

Daarentegen is silicium het basismateriaal voor de nieuwe celtechnologie, wat ruim voorradig is in Europa en veel minder belastend is voor het milieu.

16.5. Aanpak

Het doel is de ontwikkeling van een productie- en assemblagelijijn voor zonnepanelen voor toepassing in de ruimte en op aarde. Dit project is nog in de voorbereidingsfase, waardoor nog geen werkpakketten kunnen worden gedefinieerd. Er is wel een overall budget begroot.

16.6. Financiering

De totale omvang van de projectkosten zijn 20 Mln. EUR. De kosten worden voor 50% gefinancierd door partners (cash of in-kind) en voor 50% gefinancierd uit publieke bron. Voor de ontwikkeling van nieuwe PVA is aanzienlijk meer nodig.

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (Mln EUR)	Publiek (Mln EUR)	Privaat (Mln EUR)
Programma Totaal	20	10	10

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (kEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen	2	4	4								10
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen	2	4	4								10
Totaal	4	8	8								20

16.7. Consortium

Het consortium bestaat uit Airbus Defence & Space Nederland, SolarNL en toeleveranciers.

17. Remote sensing

17.1. Doel project

Het programma richt zich op de ontwikkeling en demonstratie van compacte satellietssystemen die ammoniak en broeikasgasemissies van menselijke oorsprong direct kunnen meten. De technologische innovatie ligt in de miniaturisatie van de spectrometers voor twee golflengtegebieden in het infrarood en de dataverwerkingsketen waarmee emissies nauwkeurig worden gekwantificeerd. Het programma beoogt de volledige keten te valideren: van sensorontwikkeling en satellietintegratie tot dataproductie en toepassing voor beleid, toezicht en industrie.

17.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

De ontwikkeling wordt gedreven door de urgentie om mondiale en nationale klimaatdoelen te monitoren en de naleving van emissiereducties transparant te kunnen aantonen. Economisch versterkt het programma de Nederlandse positie in de markt voor aardobservatie-technologie, satellietbouw en datadiensten, domeinen waarin Nederland al een sterke kennisbasis heeft. Technologisch wordt de stap gezet van grootschalige atmosferische observatie naar bron-specifieke detectie, wat directe toepassing mogelijk maakt voor industrie, overheden en internationale klimaatafspraken.

17.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

Precisie en miniaturisatie van meetinstrumenten

- Hoe kunnen geminiaturiseerde spectrometers ontwikkeld worden met een hoge spectrale resolutie in het thermisch infrarood (TIR) voor detectie van ammoniak, en in het kortegolvige infrarood (SWIR) voor detectie van CO₂, en CH₄ met een hoge radiometrische nauwkeurigheid en stabiliteit vanaf kleine (< 25 kg) satellietplatformen?
- *Toepassing:* deze kennis is nodig om compacte satellieten te bouwen die emissies van individuele industriële en agrarische bronnen kunnen kwantificeren en onderscheiden van achtergrondconcentraties.

Detectie en toewijzing van emissiebronnen

- Welke combinaties van spectrale banden, algoritmen en inversiemodellen maken het mogelijk om emissiefluxen op bron-schaal (< 1 km²) te schatten met een onzekerheid < 10 % en deze eenduidig toe te wijzen aan specifieke industriële, agrarische, of stedelijke installaties?
- *Toepassing:* dit vormt de basis voor een gelijk speelveld van betrouwbare emissie-monitoring in emissiehandel, vergunningverlening en naleving van klimaatdoelen.

Correctie voor atmosferische en oppervlakte-invloeden

- Hoe kan atmosferische interferentie door wolken, aerosolen en waterdamp effectief worden gemodelleerd via data-assimilatie van satellietmetingen en co-registratie met grond- of luchtmetingen, zodat emissies nauwkeurig kunnen worden bepaald onder variabele omstandigheden?
- *Toepassing:* verhoogt de bruikbaarheid van data voor operationele monitoring en vermindert foutmarges bij beleidsrapportages.

Dataverwerking en integratie in monitoringssystemen

- Welke verwerkingketen en validatiestrategie zijn nodig om satellietdata te vertalen naar beleids- en markttoepasbare emissie-indicatoren, en hoe kan interoperabiliteit met bestaande observatiesystemen (zoals Sentinel-5P en CO₂M) worden gegarandeerd?
- *Toepassing:* ondersteunt de opname van satelliet-data in nationale en Europese monitoringssystemen voor transparante rapportage en verificatie.

Opschaling en economische benutting

- Hoe kan de opgedane kennis worden toegepast bij de ontwikkeling van een toekomstige constellatie van kleine satellieten die continue mondiale dekking biedt voor emissiedetectie, met commerciële exploitatie door ruimtevaart- en datadiensten?
- *Toepassing:* creëert nieuwe marktkansen voor Nederlandse bedrijven in satellietbouw, optische instrumentatie en klimaatdatadiensten.

17.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

Bijdrage aan verdienvermogen

Het programma versterkt het Nederlandse verdienvermogen door kennis en technologie te ontwikkelen die internationaal inzetbaar zijn in de markt voor emissiedata-diensten. De missies vergroten de vraag naar hoogwaardige instrumentatie, algoritmen en dataverwerkingscapaciteit, gebieden waarin Nederlandse organisaties als TNO, SRON, KNMI, Airbus Nederland, Cosine en ISISPACE internationaal concurrerend zijn. De ontwikkeling van geminiaturiseerde spectrometers en nauwkeurige dataverwerking levert daarnaast toepassingen op voor andere aardobservatie- en milieutechnologieën, waardoor Nederlandse bedrijven hun positie in de Europese waardeketen voor klimaat- en ruimtedata verder versterken.

Bijdrage aan maatschappelijke uitdagingen

De ammoniak- en broeikasgasmissies dragen concreet bij aan de uitvoering en handhaving van klimaatdoelen. De satellieten kunnen emissies detecteren waardoor emissiebronnen zoals industriële installaties en agrarische bedrijven lokaal gevolgd kunnen worden. Dit

werkpakket ontwikkelt o.a. een Nederlands satellietinstrument dat 90% van de ammoniakemissies in de EU kan monitoren. Dit maakt een gelijk speelveld met transparante verificatie van emissiereducties mogelijk en ondersteunt beleid binnen de EU Green Deal en de UN Global Stocktake 2028. Door onafhankelijke, bron-specifieke metingen te leveren helpt het programma overheden en bedrijven om reductiedoelen te toetsen, knelpunten in emissiebeheer zichtbaar te maken en gerichte maatregelen te nemen. De missies vullen bestaande missies zoals Copernicus CO₂M en Sentinel-5P aan met fijnmazige informatie en vergroot maatschappelijke klimaatmonitoring effectiviteit op EU en mondiaal niveau.

17.5. Aanpak

WP1 - Missiedefinitie en systeemengineering

Vaststellen van missie- en gebruikersvereisten, inclusief de technische randvoorwaarden (ruimtelijke resolutie, emissie-monitoring op bronniveau). Ontwikkelen van systeemarchitectuur, optische instrumentconcepten, interfaces, risicoanalyse en projectplanning.

WP2 - Grondsegment, dataverwerking en algoritmen

Ontwikkeling van algoritmen voor emissie-afleiding en inversiemodellen (door het Clear Air Consortium). Ontwerp van het grondsegment voor dataverwerking en opslag. Implementatie van kalibratie- en validatieprocessen, inclusief koppeling met aardgebonden metingen.

WP3 - Instrumentontwikkeling, integratie en test

Bouw van de twee kleine infrarood satelliet-instrumenten voor de twee typen emissiemeting. Integratie van subsystemen (sturing, energie, communicatie) en uitvoering van systeemtesten, milieukwalificatie en vluchtvoorbereiding. Selectie van de lanceerder en lanceercampagne.

WP4 – Satellietplatform, integratie en lancering

Integratie van de instrumenten op de satelliet-platforms, lancering en inbedrijfstelling van de satellieten.

WP5 – Operationele fase en datavalorisatie

Operationele fase van **30 tot 60 maanden** na lancering. Uitvoering van gerichte metingen van ammoniak, CO₂ en CH₄, verwerking en validatie van data, en publicatie van emissie-indicatoren en de emissie-atlas. Integratie in Europese en nationale monitoringssystemen en ondersteuning van beleids- en industriële toepassingen.

Verbinding met andere actieagenda's

Geavanceerde mechatronica vormt een cruciaal deel van veel van de Nederlandse toonaangevende satelliet instrumenten. Innovaties in ultra-stabiele constructies en

nauwkeurige mechanismen, leidend tot 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, bijvoorbeeld voor innovatieve multispectrale, thermische en LIDAR-sensoren voor defensie, veiligheid en ruimtevaart in het Defensie en dual use innovatieprogramma. **Imaging Technologies** omvat het genereren, verzamelen, analyseren en visualiseren van optische (en niet-optische) beelden. De technologie strekt zich uit van sensoren en hardware tot embedded software zoals AI in beeldvormende apparaten. De technologieën in het OSIP programma zullen complementair zijn met de ontwikkelingen in het *Imaging Technologies* actieagenda, met name voor het *Multispectrale & hybride beeldvorming* programma in het ruimte domein.

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd									
		2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034
1a. Missiedefinitie en systeemengineering ammoniak missie	3	x	x								
1b. Idem CO2/CH4 missie	3	x	x								
2a.Ontwikkeling grondsegment voor ammoniak missie	2		x	x	x						
2b. Idem voor CO2/CH4 missie	2		x	x	x						
3a. Instrumentontwikkeling, integratie en test van ammoniak missie	8			x	x	x					
3b. Idem van CO2/CH4 missie	7			x	x	x					
4 Satellietplatform, integratie en lancering van beide missies	15					x	x	x			
5. Operationele fase van beide missies	10							x	x	x	x
	50										

17.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
------------	----------------------	----------------	----------------

1. Missiedefinitie en systeemengineering	6	6	
2. Ontwikkeling grondsegment	4	4	
3. Instrumentontwikkeling, integratie en test	15	15	
4. Satellietplatform, integratie en lancering	15		15
5. Operationele fase	10		10
Programma Totaal	50	25	25

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen											
Totaal	7	7	7	9	5	7.5	2.5	2.5	2.5		50

17.7. Consortium

Clear Air Consortium (TNO, TUD, SRON, KNMI) ISISPACE, WUR, Airbus, Cosine, European Space Agency (ESA)

18. Lighting the Future - for People and Planet

18.1. Doel project

Het stimuleren van zodanige technologische innovatie in intelligente licht oplossingen, optische systemen en geïntegreerde fotonica, dat duurzaamheid, veiligheid, weerbaarheid en gezondheid van mens en natuur geoptimaliseerd worden.

18.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

Belangrijke drivers voor deze PPS zijn gelegen in zoeken naar balans tussen vaak (soms schijnbaar) tegenstrijdige doelstellingen en belangen: (1) Tussen ecologie & veiligheid: Minimaliseren van lichtvervuiling en ecologische verstoring maar dit zonder in te leveren op sociale veiligheid. (2) Tussen gezondheid van mens en dier & kosten/energiereductie: Goed licht (breed spectrum, incl UV en NIR, hoge illuminantie) is een belangrijke leefstijlfactor voor slaap, welzijn, fysieke en mentale gezondheid, maar spectra minimaliseren en dimmen zijn de belangrijkste sleutels naar energiereductie (3) Tussen energiereductie & acceptatie: efficiënte verlichting en intelligente adaptieve systemen, maar wel inspelen op beleving, comfort en autonomie en recht op privacy van gebruikers. (4) Tussen intelligentie en weerbaarheid, autonomie en klimaatbestendigheid. Een zoektocht naar robuuste, zelfvoorzienende systemen, minder (onnodige) afhankelijkheid van complexe systemen, externe energiebronnen; optimalisatie van daglichttoepassing vs. hittestress.

Technologische drivers zijn legio, van nieuwe mogelijkheden om lichtspectra te tunen in zichtbaar, UV en NIR range; minimaal-intrusieve sensing en monitoringtechnieken en voorspellende modellen die just-in-time, just-in-place adaptieve interventies kunnen inzetten; Glas coatings en slimme ramen, ontwerp ondersteuningstools voor daglicht en klimaatoptimalisatie.

18.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

- Wat zijn de effecten van kunstmatig licht op biodiversiteit en natuurlijke ritmes? Wat is de relatie tussen lichtkleur, intensiteit, plaatsing en veiligheid (objectief en subjectief). Hoe kunnen lichttoepassingen in de nacht worden ontworpen om zowel menselijke (veiligheid) als ecologische behoeften te harmoniseren?
- Welke effecten hebben verschillende lichtstrategieën op gezondheid, welzijn en productiviteit van gebruikers? Hoe belangrijk is daglicht - wat zijn de gevolgen van spectrumbeperkingen (incl UV- en NIR-tekort) voor biologische processen, zicht, psychologische effecten? Hoe kunnen sensortechnologie en AI bijdragen aan nieuwe inzichten in dezen.
- Welke technologische innovaties maken adaptieve en duurzame verlichting mogelijk? Kunnen, minimale-intrusieve monitoringtechnieken voorspellende modellen en just-in-time adaptieve interventies worden ingezet om lichtomstandigheden te optimaliseren?

Hoe kan data over menselijk gedrag en gezondheid worden geïntegreerd in slimme lichtontwerpen?

- Hoe kunnen daglicht en kunstlicht optimaal gecombineerd worden om energie-efficiëntie te maximaliseren zonder comfortverlies? Welke innovatieve meetmethoden zijn nodig om lichtkwaliteit en biologische effecten nauwkeurig te monitoren? Wat is de zin maar ook onzin van complexe systemen, wat zijn de risico's, of low-tech alternatieven?

18.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

Het succes van innovatie staat of valt uiteindelijk bij passende succesvolle implementatie. Lighting the Future: Smart Solutions for People and Planet draait om de vraagstukken die passende, verantwoorde, effectieve implementatie van OSIP technologie maken of breken: door fundamentele inzichten in de behoeften van mens en natuur te vertalen naar de doelen waarin technologische innovaties in moeten voorzien en door kennis van de implementatie context te vertalen naar de kritische vereisten waaraan oplossingen moeten voldoen: Het behalen van klimaatdoelen, het veilig en efficiënt benutten van duurzame energiebronnen en het versterken van onze autonomie en weerbaarheid. Dit levert impact op maatschappelijke uitdagingen en het verdienvermogen in alle technische deeldomeinen van OSIP.

18.5. Aanpak

Overstappen naar LED kan energiegebruik significant reduceren en er zijn nog legio mogelijkheden om het energiegebruik van verlichtingssystemen verder naar beneden te krijgen met sensorplatforms, intelligente algoritmes en verbeteringen in lichtsystemen. Maar in de buitenomgeving energie besparen en lichthinder voorkomen zonder in te boeten op de kwaliteit en veiligheidsbeleving van de burger is een enorme uitdaging. Evenzo geldt dat binnenshuis goede verlichting niet alleen de mogelijkheid biedt om mensen beter te laten functioneren, maar ook blijkt licht (en donker) blootstelling een cruciale factor in de gezondheid van mens, dier en plant en een enorme impact te hebben op de biodiversiteit. Bovendien blijken acceptatie van intelligente systemen zeer regelmatig een belangrijke bottleneck. Doorontwikkeling van sensing en algoritmes die functioneren van mens, plant en dier niet belemmeren en het bewaken van gezondheidseffecten zijn daarbij geboden. Het plan van aanpak is daarom gestructureerd langs de 4 uitdagingen (lees: tegenstrijdige belangen), die ieder een werkpakket vormen. Op deze manier worden tegenstellingen en tegenstrijdige belangen tijdig meegenomen in technologische ontwikkeling, zodat we tot realistische en effectieve oplossingen komen voor de uitdagingen waarvoor we gesteld zijn. Ieder werkpakket combineert technische wetenschappen met gedrags- maatschappelijke, ecologische en/of medische wetenschappen. In ieder werkpakket is ruimte voor de fundamentele, (psychologisch/biologisch/biomedisch) mechanistische vraagstukken, de voorwaarden voor succesvolle en implementatie (bijv. sociologisch, economisch) van technologische oplossingen en de technologische doorontwikkeling om dit laatste mogelijk te maken. Organisatie in vier werkpakketten:

- Ecologie vs. veiligheid – Biologie, psychologie, perceptie, chronobiologie, spectrale tuning, luminaire ontwerp, plaatsing
- Gezondheid vs. reductie – Celbiologie, chronobiologie, psychologie, bouwfysica, spectrale tuning, sensortechnologie, daglichtontwerp, coating & slimme ramen
- Intelligentie vs. acceptatie – Psychologie, mens machine interactie, sensing & signaalprocessing, ethiek, AI & ML
- Complexiteit, weerbaarheid, autonomie en klimaatbestendigheid – economie, ecologie, energietransitie, klimaatwetenschappen, bouwfysica, LCA/businessmodellen, architectuur

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1. Ecologie vs. veiligheid	4,5	x	x	x	x						
2. Gezondheid vs. reductie	4,5		x	x	x	x	x				
3. Intelligentie vs. acceptatie	4,5			x	x	x	x	x	x		
4. Complexiteit, weerbaarheid, autonomie en klimaatbestendigheid	4,5					x	x	x	x	x	x

18.6. Financiering

De totale omvang van de projectkosten zijn 18 Mln. EUR over 10 jaar. De kosten worden voor 15 % gefinancierd door *partners* (cash of in-kind) (2,7 mlnE). De kosten worden voor 85 % gefinancierd uit publieke bron (15,3 mlnE). De duur van het programma is 10 jaar, met inzet van AiO's, EngD's – universiteiten en hogescholen, opdat gegenereerde kennis ook direct vertaald wordt in concrete oplossingen, richtlijnen en implementatietrajecten.

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
1. Missiedefinitie en systeemengineering	4,5	3,15	1,35
2. Instrumentontwikkeling en integratie	4,5	3,15	1,35
3. Satellietplatform, integratie en lancering	4,5	3,15	1,35
4. Grondsegment, dataverwerking en algoritmen	4,5	3,15	1,35
Programma Totaal	18	15,3	2,7

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen	0,15	0,15	0,45	0,45	0,45	0,45	0,15	0,15	0,15	0,15	15,3
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen	0,85	0,85	2,55	2,55	2,55	2,55	0,85	0,85	0,85	0,85	2,7
Totaal	1	1	3	3	3	3	1	1	1	1	18

18.7. Consortium

De volgende partijen nemen deel in dit project als *partner*:

Kennisinstellingen: TU Eindhoven; TU Delft; Maastricht University; RUG; Leiden University; LUMC; Erasmus; NIOO-KNAW;

Bedrijven: Bakkerelkhuizen; ClimAd Technology; HET LUX LAB; Innolumis; Kroep Techniek; Lumin3; Lichtvormgevers; Loerakker Led Line; Mantispectra; Medilux; Mirck, Rofianda; Science E; Signify; Studio Philip Ross; SUNLED; Sustainer; UTILIGHT

Overig: Dutch Daylight; Good Light Group; Team KIA-ST; Workplace vitality hub

De volgende partijen nemen deel in dit project als *geïnteresseerde*:

Center for Environmental Therapeutics; Groenlicht Vlaanderen; Danish Lighting Center; FOM Institute for Labour and Personnel; VELUX.

19. Autonome systemen

19.1. Doel project

Het programma richt zich op de ontwikkeling en validatie van geïntegreerde fotonische technologieën voor toepassingen in autonome voertuigen, geavanceerde rijhulpsystemen (ADAS), in-vehicle high-speed communicatie en robotica. Doel is om de technologische volwassenheid van cruciale fotonische bouwstenen te verhogen en hun haalbaarheid in praktijksituaties aan te tonen.

Belangrijke ontwikkelijnen zijn:

- **LiDAR-systemen:** evaluatie en ontwikkeling van LiDAR-sensoren die werken op nabij-infrarood (NIR, 750–1000 nm) en kort-infrarood (SWIR, 950–1550 nm) golflengten, met nadruk op FMCW-architecturen voor hogere resolutie, groter bereik, betere signaal-ruisverhouding en hoge integreerbaarheid.
- **Fotonicachips voor datatransport en modulatie:** ontwerp en realisatie van geïntegreerde optische schakelingen voor signaaloverdracht binnen voertuigen en voor distributie van sensordata in gedistribueerde radar- en detectienetwerken.
- **Micro-LED-technologie:** verkenning van micro-LED's als dragers voor extreem hoge datasnelheden en robuuste optische communicatie, zowel in voertuigen als in industriële toepassingen.

Om deze technologieën te laten functioneren binnen automotive-omgevingen worden ondersteunende ontwikkelsporen opgezet voor:

- **Fotonica-elektronica-integratie:** heterogene integratie van fotonische en elektronische componenten op chip- en pakketniveau, gericht op compactheid, thermisch beheer en lage productiekosten;
- **Advanced packaging en lenzen:** ontwikkeling van robuuste verpakking en optische interfaces die bestand zijn tegen temperatuurvariaties, trillingen en langdurige belasting;
- **Systeemprototypes:** realisatie van demonstratoren die prestaties van LiDAR-sensoren en optische communicatielinks aantonen in ADAS-toepassingen en veldtesten.

Het einddoel is het aantonen van de haalbaarheid van fotonica als sleuteltechnologie voor betrouwbare, efficiënte en schaalbare sensor- en communicatiesystemen, die de volgende generatie groene, autonome en verbonden voertuigen mogelijk maken.

19.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

Maatschappelijke drijfveren

De toenemende behoefte aan veilige, emissiearme en autonome mobiliteit vraagt om sensoren en communicatiesystemen die betrouwbaar functioneren onder wisselende

omstandigheden. Fotonica kan de beperkingen van bestaande radar- en camerasystemen doorbreken door hogere resolutie, groter bereik en een robuustere werking bij slechte zicht- of weersomstandigheden. Toepassing van deze technologie in ADAS en autonome voertuigen draagt bij aan verkeersveiligheid, emissiereductie en efficiënter gebruik van infrastructuur. . Ook in drones heeft een compact design en hoge resolutie veel voordelen. Ook in industriële en logistieke robotica kan fotonica bijdragen aan precisie, veiligheid en energie-efficiëntie.

Economische drijfveren

Nederland beschikt over een sterke positie in halfgeleider- en fotonica-ecosystemen, met kennisinstellingen, ontwikkelbedrijven en toeleveranciers die samen de hele keten van ontwerp tot systeemintegratie beslaan. Door deze partijen in één consortium te verbinden, kan technologische kennis sneller vertaald worden naar industriële toepassingen en marktkansen. De ontwikkeling van fotonische sensoren, communicatiemodules en geïntegreerde subsystemen opent nieuwe markten in automotive, robotica en high-tech equipment. Daarmee versterkt het programma de technologische autonomie en het verdienvermogen van de Nederlandse en Europese industrie. Daarnaast zijn optische beam-steering technieken bruikbaar in vele andere applicaties.

Technologische drijfveren

De grenzen van conventionele elektronica en radar zijn bereikt bij het streven naar hogere resolutie, snellere datastromen en lagere latency. Fotonica maakt metingen op submillimeterschaal mogelijk, biedt hoge bandbreedte voor dataoverdracht en is immuun voor elektromagnetische interferentie. De integratie van fotonica en elektronica in compacte, betrouwbare en thermisch stabiele systemen vormt een noodzakelijke stap voor de volgende generatie sensoren en communicatieknooppunten. Het consortium wil met deze PPS de ontwikkeling versnellen en de praktische haalbaarheid aantonen van fotonica als sleuteltechnologie voor autonoom opererende, energie-efficiënte en verbonden systemen.

19.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

- Wat is de technologische haalbaarheid van kerncomponenten zoals lasers, modulatoren, beam-steering arrays en optische diodes, met aandacht voor hun optische prestaties, stabiliteit en afstemming op relevante golflengten (NIR 750–1000 nm en SWIR 950–1550 nm)?
- Hoe kan betrouwbare fotonica-elektronica-integratie worden gerealiseerd, inclusief signal coupling, thermisch beheer en packaging-strategieën voor heterogene integratie van verschillende materiaalplatforms (bijvoorbeeld InP en Si-Photonics)?
- Welke ontwerpeisen en toleranties gelden voor de inzet van fotonische componenten in voertuigomgevingen, rekening houdend met temperatuurbereik, trillingen, missieduur en betrouwbaarheid over de levenscyclus?



- Hoe kunnen systeemprototypes voor ADAS de prestaties van sensoren of optische communicatielinks aantonen in praktijktesten, bijvoorbeeld ten aanzien van resolutie, detectiebereik, signaal-ruisverhouding en datadoorvoer?

19.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

Verdienvermogen

Het programma versterkt het Nederlandse en Europese verdienvermogen door de koppeling van fotonica en halfgeleidertechnologie aan de groeiende markten voor autonome voertuigen, robotica en high-speed communicatiesystemen. Door fundamentele componenten, integratieplatforms en systeemprototypes gezamenlijk te ontwikkelen, ontstaat een kennis- en productbasis die bedrijven in de waardeketen in staat stelt nieuwe generaties sensoren, datalinkmodules en geïntegreerde subsystemen te commercialiseren. De PPS bevordert kennisverspreiding tussen onderzoeksinstituten en industriële partners, verkort de tijd tussen laboratoriumresultaat en markttoepassing en vergroot de innovatiecapaciteit van Nederlandse maak- en designbedrijven. Dit draagt bij aan een versterkte exportpositie, hogere toegevoegde waarde in productie en systeemintegratie, en behoud van hoogwaardige werkgelegenheid binnen het high-tech domein.

Maatschappelijke uitdagingen

De resultaten ondersteunen de transitie naar veiligere, schonere en slimmere mobiliteit. Betrouwbare fotonische sensoren maken geavanceerde rijhulpsystemen nauwkeuriger, waardoor de kans op ongevallen afneemt en verkeersdoorstroming verbetert. Hogesnelheidscommunicatie tussen voertuigen en binnen voertuignetwerken maakt efficiëntere coördinatie en lagere energieconsumptie mogelijk. In bredere zin dragen deze technologieën bij aan emissiereductie, logistieke efficiëntie en robotisering van arbeidsintensieve of risicovolle taken in industrie en transport.

Het programma sluit aan op meerdere prioritaire sleuteltechnologieën binnen de Nationale Technologiestrategie. De kern ligt bij **Optical systems and integrated photonics**, waarbinnen Nederland investeert in geavanceerde optische sensoren, datatransmissie en systeemintegratie. Deze PPS levert directe bijdragen aan dat doel via de ontwikkeling van LiDAR, fotonische chips en optische communicatietechnologieën.

Daarnaast is er een sterke verbinding met **Semiconductor technologies**, gericht op ontwerp, fabricage en packaging van geïntegreerde modules, en met **Digital and information technologies**, die relevant zijn voor dataverwerking, sensorfusie en systeemaansturing. Ook **Imaging technologies** heeft aansluiting, doordat de prestaties van optische sensoren en beeldvormingssystemen bepalend zijn voor de validatie van ADAS-functies en autonome robotica.

Missiegedreven innovatie- en topsectorenbeleid

Het programma sluit aan op twee centrale missies uit het missiegedreven innovatie- en topsectorenbeleid van de Rijksoverheid:

- **Klimaat en Energie – Nederland klimaatneutraal in 2050**
De ontwikkeling van OSIP-technologieën maakt voertuigen en robots energie-efficiënter en veiliger. Betere omgevingswaarneming en snellere dataverwerking leiden tot optimaler rijgedrag, minder brandstofverbruik en lagere emissies.
- **Veiligheid – veilig en weerbaar tegen fysieke en digitale dreigingen**
Betrouwbare en storingsongevoelige OSIP-systemen verbeteren situational awareness in voertuigen en dragen bij aan veilige voertuigcommunicatie en datatransmissie. Daarmee versterken ze fysieke verkeersveiligheid en digitale robuustheid in voertuignetwerken.

19.5. Aanpak

Het programma begint met een **looptijd van 6 jaar**, van jaar 1 tot en met jaar 6. De eerste twee jaar richten zich op fundamentele componentontwikkeling en integratiearchitecturen; jaar 3 en jaar 4 staan in het teken van subsystemen en demonstrators in voertuigomgeving; jaar 5 en jaar 6 zijn gewijd aan systeemvalidatie, kwalificatie en opschaling richting pre-productie. Op het moment van schrijven zijn budgetten per werkpakket nog niet bekend.

WP1 Componentontwikkeling:

Ontwerp en realisatie van lasers, modulatoren, beam-steering arrays, micro-LED-zenders/ontvangers en optische diodes.

WP2 Integratie & Packaging

Heterogene integratie van fotonica en elektronica, lens- en interposer-oplossingen, thermisch beheer en robuustheids-verificatie.

WP3 LiDAR-Subsystemen voor ADAS

Ontwikkeling van FMCW-LiDAR-keten, kalibratie, detectiebereik en veldtests in voertuigcontext.

WP4 In-Vehicle Optisch Netwerk

Architectuurontwikkeling, demonstratoruitvoering voor >10 Gb/s datatransmissie, EMC-analyse en communicatieprotocollen.

WP5 Micro-LED Data-Links

Modulatieonderzoek, linkbudgetstudies, prototype-demonstrators en integratie in voertuiginterface.



WP6 Fotonisch Ondersteunde Sensornetwerken

Radio-over-fiber en fotonische multiplexing voor distributed radar-netwerken, integratie met sensorketen.

WP7 Validatie & Kwalificatie

Uitvoeren van missieprofielen, temperatuur- en trillingscycli, betrouwbaarheidstesten en rapportage van prestatie-KPI's.

WP8 Programma- & Ketenmanagement

IP-beheer, standaardisatie, opschaling van productie, samenwerkingstoeleveranciers en business-casevoorbereiding.

Het programma volgt een logische opbouw: eerst component- en integratietechnologie validatie in laboratoriumomgeving, vervolgens subsystemen in realistische voertuig- of roboticaomgevingen, en ten slotte systeem-KPI's en ketenrealisatie richting pre-productie.

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd							2033	2034	2035
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032			
1. Componentontwikkeling		x	x	x							
2. Integratie & pacakaging		x	x	x							
3. LiDAR-subsystemen voor ADAS			x	x	x						
4. In-vehicle optisch netwerk			x	x	x	x					
5. Micro-LED Data-Links			x	x	x	x					
6. Fotonisch ondersteunde sensornetwerken				x	x	x	x				
7. Validatie & kwalificatie					x	x	x				
8. Programma & ketenmanagement		x	x	x	x	x	x				

19.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
Programma Totaal	7	5	2

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen											2
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen											5
Totaal	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.					7

19.7. Consortium

- **Bedrijven:** NXP Semiconductors, Scantinel Photonics, LioniX, SMART Photonics, Effect Photonics, DAF, VDL
- **Kennisinstellingen:** TNO Automotive, TU Eindhoven, Universiteit Twente, TU Delft
- **Overig:** PhotonDelta, High Tech Campus Eindhoven
- **Governmental:** Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW), Ministerie van EZK

20. OSIP Onderzoek PPS – Computational Optics

20.1. Doel project

Computational optics is een interdisciplinair vakgebied dat wiskundige en computationele methoden inzet om innovatieve oplossingen te ontwikkelen voor situaties waarin complexe optica een rol speelt. Het richt zich op het modelleren, simuleren en optimaliseren van optische systemen en het ontwikkelen van nieuwe algoritmes voor optische informatie-vraagstukken, om daarmee de beperkingen van traditionele benaderingen te boven te komen. Dit omvat het ondersteunen van het optische ontwerpproces [@@WLIJ: ontwerpmethodes hebben we in andere PPS; wordt dit bedoeld?], het ontwerpen van optische systemen zonder fysieke lenzen (lensloze ontwerpen) en het gebruik van digitale technieken voor nauwkeurige metingen en analyses, zoals scatterometrie en b.v. holografische metrologie. Computational optics biedt oplossingen voor uitdagingen die de grenzen verleggen van traditionele optische systemen. Daarmee worden nieuwe analyse-uitkomsten, compactheid, en verbeterde prestaties bereikt voor optische technologieën.

20.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

Door de conventionele optische technologieën te combineren met moderne, machine-learning gebaseerde, wiskunde, technologie en innovatieve algoritmen bereikt computational optics een revolutionaire nieuwe generatie van optische systemen, wat leidt tot efficiëntere, flexibele en kosteneffectieve oplossingen in diverse domeinen.

20.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

De belangrijkste onderzoeksthema's binnen computational optics omvatten:

- **Computer-ondersteund optisch ontwerpen:** Het verbeteren van het complexe optisch ontwerpproces door middel van computationele technieken om daarmee schaarsheid aan optisch ontwerper maar ook risico's in het ontwerpproces te mitigeren.
- **Lensloos ontwerp:** Het ontwikkelen van optische systemen die functioneren zonder fysieke lenzen of met zeer eenvoudige lenzen door gebruik te maken van algoritmen en digitale reconstructietechnieken. Dit omvat een veelheid aan analysetechnieken zoals diffractie-gebaseerde beeldvorming om verborgen informatie naar voren te halen.
- **Holografische en scatterometrische metrologie:** Het gebruik van computationele algoritmes voor het in kaart brengen van oppervlaktestructuren, vervormingen en dynamische processen, met hoge precisie. Dit omvat toepassingen in realtime monitoring en nauwkeurige 3D- en subsurface-reconstructie.
- **Geavanceerde simulatiemethoden:** Het modelleren van lichtgolven en optische systemen met behulp van wiskundige simulaties en numerieke technieken, onder andere in nieuwe optische gebieden zoals fotonische semiconductor structuren en quantummechanische foton technologieën.

- **Machine learning in optica:** Het toepassen van kunstmatige intelligentie en neurale netwerken om complexe beeldverwerking problemen op te lossen.

20.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

Computational optics heeft een breed scala aan toepassingen in verschillende sectoren:

- **Medische beeldvorming:** Verbeterde beeldverwerking en lensloze microscopie en holografische technieken worden gebruikt voor het analyseren van biologische monsters en het diagnosticeren van ziekten via medische beeldvorming.
- **Industrieel onderzoek:** Holografische metrologie en scatterometrie wordt ingezet voor kwaliteitscontrole, structurele analyse en defect detectie in fabricageprocessen.
- **Nauwkeurige positionering:** Het ontwerpen custom microscopen voor geavanceerde detectie van de juiste positionering tijdens industriële high-tech maakprocessen, is zeer kennisintensief en duur. Met betere beeldvorming en computer-ondersteund ontwerpen komt dit beschikbaar voor een breed palet aan technische bedrijven.
- **Telecommunicatie:** Optimalisatie van optische communicatiesystemen, zoals fiberoptische netwerken en het verbeteren van optische on-chip oplossingen die de optisch informatieoverdracht completeren. Verbeterde laser-communicatieoplossingen in combinatie met quantumgebaseerd security technologie (QKD).
- **Ruimtevaart en astronomie:** Lensloze optische systemen worden gebruikt voor compacte en lichtgewicht beeldvorming in satellieten en telescopen. Adaptieve Optiek is een ander gebied dat nog sterk in ontwikkeling is en dat sterk leunt op de computationele technieken.
- **Virtual reality en augmented reality:** Computational optics speelt een belangrijke rol bij het ontwerpen van headsets en displays met verbeterde optische prestaties, zodat de hardware lichter en compacter kan worden, en daarmee beschikbaar komt voor een groter aantal toepassingen.

20.5. Aanpak

Voor elk toepassingsgebied zijn specifieke onderzoeksthema's geïdentificeerd:

- **Verbeterde beeldverwerking:** dit deelthema versterkt het arsenaal aan beeldtechnieken met nieuwe AI-gebaseerde oplossingen en de daarbij behorende behorende software-architecturen, waarbij ook de mogelijke real-time verwerking een belangrijke component kan zijn. (target 10 PDs --> 6M)
- **Computationele analysemethoden voor substraat analyse:** dit thema vergroot het aantal beschikbare technologieën om via een breedbandig lichtspectrum efficiënt informatie te vergaren over materialen, oppervlakten en samples in industriële of life sciences toepassingen (target 6 PhDs --> 4M)

- **Nieuwe computationele optische technieken:** In dit thema wordt gekeken naar geheel nieuwe computationele technieken om optische gedrag te modelleren en te begrijpen, b.v. voor actieve quantumfotonische elementen, het beheersen van licht in diffusie media of gradient-optiek, voor het modelleren van licht in biologisch tissues of snel veranderende samenstellingen. (target 8 PhDs --> 5M)

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1. Verbeterde beeldverwerking			x	x	x	x	x	x	x	x	x
2. Computationele analysemethoden			x	x	x	x	x	x	x	x	x
3. Computationele optische technieken			x	x	x	x	x	x	x	x	x

20.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
Programma Totaal	15	12,75	2,25

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen											2,25
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen											12,75
Totaal		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	15

20.7. Consortium

Bedrijven: Philips, ASML, Signify, Demcon, FSO, VDL, Hittech, NTS, Lionix, Brilliance

Instellingen: TNO, SRON, UTwente, TUD, TU/e



21. OSIP Onderzoek PPS – Optische systemen KI

21.1. Doel project

Optische systemen voor kunstmatige intelligentie gebruiken fotonische chips die neurale netwerken uitvoeren met licht in plaats van elektrische signalen. Hierdoor kunnen berekeningen parallel en met een veel lager energieverbruik worden uitgevoerd. Het doel van deze PPS is een volledig geïntegreerde optische chip te ontwikkelen die alle functies van een netwerk op één platform combineert, van lichtgeneratie tot signaalverwerking. Deze technologie maakt nieuwe, energie-efficiënte rekenarchitecturen mogelijk die de schaalbaarheid en snelheid van AI-systemen aanzienlijk vergroten. Daarmee versterkt het programma de positie van Nederland in de ontwikkeling en toepassing van fotonische AI-technologie.

21.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

Dit onderdeel is op moment van schrijven in ontwikkeling.

21.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

- **Lichtgeneratie en detectie:** de PPS ontwikkelt geïntegreerde lichtbronnen en fotodetectoren met hoge snelheid en lage ruis. Het onderzoek richt zich op betrouwbaarheid, miniaturisatie en nauwkeurige signaalverwerking. Deze componenten vormen de basis voor optische berekeningen binnen neurale netwerken.
- **Signaalomzetting:** efficiënte omzetting tussen optische en elektrische signalen is cruciaal voor hybride fotonische systemen. De PPS onderzoekt conversietechnieken die minimale energie verliezen en snelle respons bieden, zodat gegevens zonder vertraging kunnen worden verwerkt.
- **Optische activeringsfuncties:** activeringsfuncties bepalen het niet-lineaire gedrag van neurale netwerken. Onderzoek richt zich op optische implementaties van functies zoals ReLU en sigmoid, waarmee optische systemen zelfstandig kunnen leren en beslissingen nemen zonder digitale tussenstappen.
- **Heterogene integratie:** om alle componenten te combineren op één chip ontwikkelt de PPS methoden voor heterogene integratie van optische, elektrische en thermische functies. Hierbij ligt de nadruk op compatibiliteit tussen materialen en op schaalbare productieprocessen.
- **Miniaturisatie en schaalbaarheid:** het programma onderzoekt manieren om fotonische AI-chips kleiner te maken en tegelijkertijd hun rekenkracht te vergroten. Door optimalisatie van ontwerp en fabricage kunnen de systemen worden geïntegreerd in datacenters, autonome voertuigen en draagbare apparaten.

21.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

Dit onderdeel is op moment van schrijven in ontwikkeling.

21.5. Aanpak

Dit onderdeel is op moment van schrijven in ontwikkeling.

21.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
Programma Totaal	15	12,75	2,25

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen											2,25
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen											12,75
Totaal		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	15

21.7. Consortium

Dit onderdeel is op moment van schrijven in ontwikkeling.

22. OSIP Onderzoek PPS – New optical components

22.1. Doel project

Optical components are at the core of many devices and instruments in the modern society. Satellite based monitoring of environment, medical devices, lighting and security, manufacturing of electronic devices like phones and many other applications have optical components embedded in them. New optical components have the potential to impact many sectors making existing devices be more efficient, compact and multifunctional and have higher performance. Three promising technologies are freeform optics, meta-optics and Free form GRAdient Index Optics (F-GRIN optics) which show the capability of meeting these goals. The Netherlands has a strong base in photonics and optical manufacturing, making it well-positioned to play a leading role in these emerging technologies.

Freeform optics: traditional optical components are rotationally symmetric. The rotational symmetry makes that these optical components have limitations in their imaging and illumination performance. More and more applications use freeform optics, optical components without the symmetry constraints. These arbitrary shaped surfaces are difficult to design, manufacture and the metrology of these components is a complicated challenge.

Meta-optics: Meta-optics leverages nanostructures and advanced optical materials to manipulate light in ways not possible with traditional optics. The goal is to develop ultra-thin, multifunctional optical components that can replace and enhance conventional components and optical systems. Meta-optics offers opportunities for miniaturization, higher performance, and advanced functionalities such as polarization management and color selection in a single optical layer.

F-GRIN optics (Free form GRAdient Index Optics): F-GRIN optics are optical components in which the refractive index within the material varies as a function of position. This makes it possible to replace complex optical systems consisting of many individual components with a single component. F-GRIN optics has the potential to be manufactured using advanced additive manufacturing technologies, enabling scalable production. This technology aligns with the roadmap developed by Dutch players such as ASML, Signify, and TNO, and offers opportunities for innovation in imaging, lighting, and optical systems.

The PPP focuses on strengthening the position of the Netherlands in these domains, where rapid progress is being made internationally, particularly in the US and Asia. It leverages existing strengths in integrated photonics, optical manufacturing, and semiconductor technology.

22.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

This PPP contributes to breakthroughs in key technologies such as photonics, with a focus on scalable production and integration into high-tech systems. This will retain the competitive



edge of the Dutch industry by enabling efficient manufacturing in the many industries using optical components. Besides this will strengthen the high value optical manufacturing industry in the Netherlands. This enhances the Dutch position in optical technologies and industries where optics plays a key role opening up new opportunities for innovation and economic growth.

22.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

To further develop these technologies, the PPP focuses on several research themes:

Freeform optics:

- Optimization, design and modeling of freeform optical components and the development of the corresponding aberration theory.
- Development of new metrology methods to accurately measure the shape
- Development of new methods to manufacture freeform optical components
- Optimization, design and modeling of folded optical systems that use freeform optical components.

Meta-optics:

- Design and modeling of nanostructures that control the phase, amplitude, and polarization of light.
- Research into novel material systems, such as meta-materials and hybrid structures, which offer optimal optical properties.
- Integration of meta-optics with existing photonics platforms and heterogeneous systems.
- Development of scalable production techniques, such as lithography and nanofabrication, which are compatible with semiconductor processes.

F-GRIN optics:

- Development of design methods to achieve complex refractive index profiles.
- Research into suitable materials and production methods for manufacturing GRIN components.
- Optimization of additive manufacturing technologies to produce precise and reproducible structures.
- Characterization and metrology of GRIN optics to evaluate and improve performance and reliability.

The PPP encourages collaboration between knowledge institutions and companies to develop and demonstrate these technologies, with a focus on industrial scale-up.



22.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

New optical components offer a wide range of applications:

Imaging: Freeform, Meta-optics and F-GRIN optics can be used in advanced cameras, space optics, microscopes, and medical imaging, with more compact designs and improved performance.

Optical communication: Freeform, F-GRIN optics and meta-optics enables more efficient light manipulation, which can improve the performance of optical communication systems including satellite imaging.

Sensing: Freeform, F-GRIN optics and meta-optics offer enhanced sensor functionality, such as increased sensitivity and accuracy.

Illumination: Freeform, F-GRIN optics can replace conventional lenses in lighting applications, leading to more compact designs and more efficient light distribution.

Metrology: Both technologies offer new possibilities for advanced optical measurement instruments, such as spectrometers and interferometers.

22.5. Aanpak

Specific research themes have been identified for each application area. The overall approach for this project is as follows: Work package (WP)

WP1 - Design of freeform optics:

This WP consist of modelling and optimization of freeform optical components in imaging and non-imaging systems.

WP2 - Metrology of freeform optics:

In this WP new method to measure the shape of the freeform optical components, including mid-spatial frequencies.

WP3 - Manufacturing of freeform optics

In this WP new methods to make freeform optical components are developed. This includes polish and other surface treatments.



WP4 - Design of meta optics

This WP consists of modelling of nano-structure assemblies to design components which can control the light path inside an optical instrument with respect to phase, amplitude, and polarization of light.

WP5 - Materials and Manufacturing of meta optics

This WP investigates the materials and manufacturing techniques needed to make the optimum nano-structure configurations required to manipulate light for desired function.

WP6 - Integration of meta optics with existing platforms

This WP will focus on integrating meta optics into existing optical systems. The main focus will be on efficiency and functionality.

WP7 - Design of F-GRIN optical components and systems

This WP will involve designing optical components with free form refractive index distribution to achieve higher functionality for illumination, sensing and imaging applications.

WP8 - Materials and processing for F-GRIN optics

This WP develops materials with the needed refractive index values which are compatible with additive manufacturing techniques. Both optical, chemical and mechanical properties are of relevance.

WP9 - Additive manufacturing techniques for F-GRIN optics

This WP investigates manufacturing techniques for F-GRIN components for feasibility, fidelity, repeatability and scalability.

WP10 - Characterization and metrology of F-GRIN optics

This WP will be focused on developing techniques to characterize and measure the F-GRIN optical elements for properties and functionality.

For each WP we need three PhD's in a period of 10 years; in total 30PhD students.

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd										
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033			
1. Design			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2. Metrology			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
3. Manufacturing			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

4. Design			x	x	x	x	x	x	x	x	x
5. Materials & Man.			x	x	x	x	x	x	x	x	x
6. Integration			x	x	x	x	x	x	x	x	x
7. Design			x	x	x	x	x	x	x	x	x
8. Materials & Proc.			x	x	x	x	x	x	x	x	x
9. Additive manuf.			x	x	x	x	x	x	x	x	x
10. Metrology			x	x	x	x	x	x	x	x	x

22.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
Programma Totaal	15	12,75	2,25

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen											2,25
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen											12,75
Totaal		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	15

22.7. Consortium

Dit onderdeel is op moment van schrijven in ontwikkeling.

23. OSIP Onderzoek PPS – New Optical Designs

23.1. Doel project

De PPS richt zich op de ontwikkeling van innovatieve ontwerpmethoden voor klassieke optische componenten zoals lenzen, spiegels, en diffractieroosters, met als doel het realiseren van nieuwe optische ontwerpen die optimale prestaties, maakbaarheid en betaalbaarheid combineren. Een van de belangrijkste trends in dit domein is miniaturisatie, die een cruciale rol speelt in toepassingen zoals optische metrologie, satelliettechnologie en verlichting. Kleinere optische systemen bieden voordelen zoals minder materiaalgebruik, een lager gewicht en compactheid, maar brengen tegelijkertijd aanzienlijke ontwerpuitdagingen met zich mee. Vaak worden optische paden opgevouwen om ruimte te besparen, wat resulteert in complexe geometrieën en vereisten voor geavanceerde ontwerpmethoden. Kruisverbanden met optica op de golflengte en sub-golflengteschaal (multi-schaal optica) spelen ook in toenemende mate een rol, door hogere eisen aan nauwkeurigheid van maken en meten, en om nieuwe toepassingen mogelijk te maken.

De optische ontwerpmethodologieën zijn van groot belang voor de Nederlandse hightech-industrie, die wereldwijd een leidende rol speelt op het gebied van geavanceerde systemen. Echter, in tegenstelling tot China, waar intensief onderzoek naar optische ontwerptechnieken plaatsvindt, wordt er in Nederland relatief weinig geïnvesteerd in fundamenteel onderzoek op dit gebied. Het gebrek aan deze basisvaardigheden kan de sterke internationale positie van Nederland in hightech-systemen onder druk zetten. Daarom is het noodzakelijk om de ontwikkeling van optische ontwerpmethoden te stimuleren om zowel de nationale als internationale concurrentiepositie te versterken.

23.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

Door de ontwikkeling van deze technologieën ondersteunt de PPS de Nederlandse hightech-industrie en draagt het bij aan de groei van fotonische oplossingen in diverse sectoren. Dit versterkt niet alleen de internationale positie van Nederland in de optische en fotonische industrie, maar opent ook deuren naar nieuwe markten en toepassingen.

23.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

De kern van de PPS ligt in het ontwikkelen van ontwerpmethoden voor zowel afbeeldende als niet-afbeeldende optische systemen. Hierbij worden nieuwe wiskundige modellen, fysische inzichten en geavanceerde technologieën ingezet om tot innovatieve ontwerpen te komen. De belangrijkste onderzoeksthema's zijn:

- **Aberratietheorie voor asymmetrische systemen:** Het onderzoeken van optische aberraties in niet-symmetrische systemen en het toepassen van deze kennis in satelliettechnologie en semiconductor metrologie.

- **Optimalisatietechnieken voor optische systemen:** Het ontwikkelen van geavanceerde optimalisatiemethoden, zoals directe optimalisatie en het gebruik van kunstmatige intelligentie, om optische systemen te verbeteren.
- **Inverse methoden voor optische technologie:** Het toepassen van inverse problemen en computationele technieken om nieuwe optische ontwerpen te creëren die voldoen aan specifieke prestatiecriteria.
- **Ontwerpen van hybride optische systemen:** Het ontwikkelen van optische systemen die deels gebruik maken van klassieke macroscopische componenten als lenzen en spiegels alsook van microscopische componenten als fotonische chips of nanofotonische structuren en interacties, en het optimaal maken van de verbanden tussen de verschillende lengteschalen in het ontwerp.

Deze thema's dragen bij aan het oplossen van complexe ontwerpuitdagingen en bieden een solide basis voor de toekomst van optische technologie.

23.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

De PPS legt een sterk fundament voor de ontwikkeling van geavanceerde fotonische en opto-elektronische systemen, die een hogere efficiëntie, verbeterde signaalverwerking en lagere kosten mogelijk maken. De technologie ondersteunt doorbraken in diverse toepassingsdomeinen binnen de sleuteltechnologie fotonica, waaronder:

- **Sensortechnologie:** Compacte, nauwkeurige en efficiënte sensoren voor industriële en medische toepassingen.
- **High-precision apparatuur:** Ontwikkeling van optische systemen voor lithografie en metrologie in de semiconductorindustrie en als enabler in de levenswetenschappen (microscopie).
- **Satelliettechnologie:** Miniaturisatie en optimalisatie van optische systemen voor ruimtevaarttoepassingen.
- **Verlichting:** Efficiënte en duurzame optische ontwerpen voor innovatieve verlichtingsoplossingen.

23.5. Aanpak

Dit onderdeel is op moment van schrijven in ontwikkeling.

23.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)

Programma Totaal	15	12,75	2,25
-------------------------	----	-------	------

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen											2,25
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen											12,75
Totaal		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	15

23.7. Consortium

Dit onderdeel is op moment van schrijven in ontwikkeling.

24. OSIP Onderzoek PPS – Future sources

24.1. Doel project

De PPS richt zich op de ontwikkeling van nieuwe en innovatieve optische bronnen, zoals LED's, lasers, X-ray, IR en andere geavanceerde lichtbronnen, die essentieel zijn voor bijna alle high-tech applicaties. Optische bronnen vormen vaak het hart van geavanceerde systemen, waarbij specifieke eigenschappen zoals hoge helderheid, breedbandige spectrale dekking, controleerbare coherentielengte en energie-efficiëntie cruciaal zijn. Het verbeteren van deze bronnen kan leiden tot baanbrekende innovaties in diverse toepassingsgebieden, zoals verlichting, communicatie, lithografie, medische technologie en metrologie.

Een voorbeeld van de impact van broninnovaties is de introductie van LED-technologie, die de verlichtingsindustrie volledig heeft getransformeerd door energie-efficiëntie, een lange levensduur en veelzijdigheid te combineren. De focus van deze PPS ligt op het ontwikkelen van nieuwe lichtbronnen met unieke eigenschappen, die niet alleen nieuwe toepassingen mogelijk maken, maar ook bestaande technologieën verbeteren.

24.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

Door de ontwikkeling van nieuwe lichtbron technologieën biedt deze PPS een solide basis voor innovatie binnen uiteenlopende high-tech industrieën, terwijl het tegelijkertijd bijdraagt aan energie-efficiëntie, duurzaamheid en nieuwe marktkansen. Nederland kan de leidende positie in optische technologieën verder versterken en uitbreiden naar nieuwe gebieden.

24.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

De centrale onderzoeksthema's richten zich op het ontwerpen en ontwikkelen van optische bronnen met geavanceerde en nieuwe eigenschappen, die tegemoetkomen aan de groeiende eisen van moderne toepassingen. Enkele belangrijke onderzoekslijnen zijn:

- **Breedbandige lasers:** Lasers met een breed spectrum, een hoge helderheid, en flexibele coherentie-eigenschappen (lange of korte coherentielengte) kunnen worden ingezet in medische technologie, optische communicatie en metrologie. Ze bieden mogelijkheid om complexe toepassingen te ondersteunen, afhankelijk van nauwkeurige spectrale controle.
- **Lasers voor verlichting:** Lasers als lichtbron bieden unieke voordelen, zoals het mogelijk maken van extreem kleine verlichtingsarmaturen met maximale lichtcontrole en minimaal lichtverlies. Ontwikkeling van lasers die wit licht uitzenden met een lage coherentie is essentieel om speckle-effecten te vermijden, terwijl alternatieve methoden, zoals het combineren van meerdere lasers en speckle-onderdrukkingstechnieken, ook onderzocht worden.
- **Organische LED (OLED):** Hoewel OLED's grote oppervlakken efficiënt kunnen verlichten, blijven uitdagingen zoals een lage efficiëntie en korte levensduur een obstakel. Het

onderzoek richt zich op het verbeteren van materialen en het ontwikkelen van efficiënte, duurzame OLED-systemen die concurreren met traditionele LED-oplossingen.

- **Groene lichtconversie:** De huidige efficiëntie van verlichting wordt beperkt door het ontbreken van een efficiënte halfgeleider lichtbron en van een effectief blauw-naar-groen lichtconversie materiaal. Onderzoek naar nieuwe materialen en systemen die deze conversie mogelijk maken, kan leiden tot een doorbraak in energie-efficiënte verlichtingstechnologie.
- **Single-photon bronnen:** Ontwikkeling van bronnen die slechts één foton uitzenden, met toepassingen in quantumtechnologie. Deze bronnen moeten stabiel werken bij hogere temperaturen en zonder vacuüm, wat een grote uitdaging vormt.

24.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

De toepassing van geavanceerde lichtbronnen bestrijkt een breed spectrum:

- **Lasers:** Gebruikt in optische communicatie, precisietechnologie, medische beeldvorming, en industriële productieprocessen.
- **LED's:** Breed ingezet in algemene verlichting, displays, en energie-efficiënte systemen.
- **X-ray bronnen:** Onmisbaar in medische diagnostiek, materiaalonderzoek en optische metrologie.
- **IR bronnen:** Toepassingen variëren van industriële curingprocessen tot sensortechnologie en warmtebeeldcamera's.
- **Single-photon bronnen:** Een sleutelcomponent in quantumcomputers, cryptografie en fundamenteel onderzoek naar quantummechanica.

24.5. Aanpak

Voor elk toepassingsgebied zijn specifieke onderzoeksthema's geïdentificeerd. De globale aanpak van dit project wordt als volgt voorzien:

Voor een lichtbron type en zijn applicatie wordt de theorie van de licht generatie bestudeerd waaruit kennis wordt opgedaan over de gewenste materiaaleigenschappen en architectuur van de te ontwikkelen bron. Deze resultaten geven richting aan de materiaalontwikkeling en lichtbronontwerp fase. Het ontwerp wordt gerealiseerd met behulp van een gekozen of zelf ontwikkeld fabricageproces. Waarna de aannames en ontwikkelde fysische modellen worden geverifieerd met behulp experimenten en waar nodig worden deze aangepast. Verwacht wordt dat deze lus: theorie-materiaalontwikkeling-ontwerp-realisatie-verificatie meerdere malen doorlopen zal worden. Werkpakketten in het onderzoek zijn dan:

1. **Theorie:** Een fysisch model wordt ontwikkeld dat sturing geeft aan pakketten 2 en 3. Het model wordt samen met pakket 5 geverifieerd.

2. **Materiaalontwikkeling:** Nieuwe organische, anorganische en halfgeleider materialen worden bestudeerd en hun eigenschappen samen met pakket 5 gekarakteriseerd. Samen met pakketten 1 en 3 worden de eigenschappen waar mogelijk aangepast met behulp technieken zoals onder anderen "bandgap engineering", fotonische kristallen, "nanoparticles" en golfgeleiders op een wafer en in fibers.
3. **Lichtbronarchitectuur:** Onder anderen de microarchitectuur bepaald de karakteristieken van de lichtbron. Doel van dit pakket is de selectie van de materialen (samen met pakket 3), ontwerp van een maakbare bron (samen met pakket 4). Samen met pakketten 1 en 5 wordt bepaald of de modellering juist is en dat de bron voldoet aan de specificaties.
4. **Fabricagetechnieken:** Fabricagetechnieken worden bestudeerd en waar nodig zelf ontwikkeld om de ontworpen lichtbron te realiseren. Hier wordt nauw samen gewerkt met pakket 3 en 5. De gekozen techniek wordt onderzocht of geschikt is voor industrialisatie.
5. **Verificatie en karakterisatie:** Meetmethoden worden ontwikkeld voor de verificatie van de fysische modellen en karakterisatie van de gemaakte lichtbronnen. De resultaten worden gebruikt in werkpakket 1, 3 en 4.

Verwacht wordt dat de ontwikkeltijd voor een praktische lichtbron typisch 10 jaar zal bedragen. In elk werkpakket zal minimaal 3 promovendus werkzaam zijn en het is voorzien dat deze gedurende de het project 4 tot 6 promovendi sequentieel aan het onderwerp zullen werken. Dit geeft ook de benodigde overlap voor kennisoverdracht.

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032			
1. Theorie			x	x	x	x	x	x	x	x	x
2. Materiaal			x	x	x	x	x	x	x	x	x
3. Lichtbron			x	x	x	x	x	x	x	x	x
4. Fabricage			x	x	x	x	x	x	x	x	x
5. Ver.&Char.			x	x	x	x	x	x	x	x	x

24.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)

1. Theorie			
2. Materiaal			
3. Lichtbron			
4. Fabricage			
5. Ver.&Char.			
Programma Totaal	9	7,65	1,35

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen											1,35
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen											7,65
Totaal		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	9

24.7. Consortium

Dit onderdeel is op moment van schrijven in ontwikkeling.

25. OSIP Onderzoek PPS – Optical Sensor Technology

25.1. Doel project

Optische sensortechnologie speelt een cruciale rol in tal van industrieën en toepassingen, variërend van medische diagnostiek tot structurele monitoring. Het doel van deze PPS is het ontwikkelen van geavanceerde optische sensoren die hogere gevoeligheid, nauwkeurigheid en betrouwbaarheid bieden, terwijl ze compact, energie-efficiënt en kosteneffectief zijn. Hieronder worden enkele belangrijke toepassingsgebieden en doelen beschreven:

Photoacoustics: Bij deze techniek worden korte lichtpulsens gebruikt om specifiek weefsel, zoals bloed, te verhitten. De thermische uitzetting genereert ultrasone golven die kunnen worden gedetecteerd om driedimensionale beelden van weefselstructuren te maken. Het doel is om de beeldkwaliteit en penetratiediepte te verbeteren, zodat deze technologie breder toepasbaar wordt in medische diagnostiek, zoals mammografie en intravasculaire beeldvorming.

Fiber Bragg sensoren: Deze sensoren gebruiken optische vezels om lokaal stress, trillingen of geluidsgolven te meten. Ze worden gebruikt voor het monitoren van infrastructuur zoals dijken, betonnen constructies en windmolenwieken. Het doel is om de gevoeligheid, nauwkeurigheid en duurzaamheid te verbeteren, zodat deze technologie nog beter geschikt is voor langdurige monitoring en extreme omstandigheden.

Geïntegreerde sensoren: Deze sensoren worden gebruikt om specifieke stoffen in gassen of vloeistoffen te detecteren. Met behulp van geïntegreerde fotonica kunnen bijvoorbeeld moleculaire veranderingen in bloed of lucht worden gemeten via interferometrische technologie. Het doel is om de miniaturisatie en integratie van deze sensoren te verbeteren, zodat ze breed inzetbaar worden in medische diagnostiek, milieumonitoring en industriële processen.

Single photon sensoren: Sensoren met de meest extreme gevoeligheid detecteren licht op het niveau van de fotonen zelf, en geven dus een telbaar signaal. Deze sensoren gebruiken het kwantum karakter van licht om nieuwe toepassingen mogelijk te maken. Die liggen bijvoorbeeld in optische communicatie en biomedische diagnostiek. Het doel is om de integratie en multiplexing van deze sensoren te verbeteren, zodat ook camera toepassingen van deze technologie in beeld komen.

25.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

Door de grensverleggende technologieën en innovaties binnen deze PPS wordt de basis gelegd voor een nieuwe generatie optische sensoren die efficiënter, betrouwbaarder en veelzijdiger zijn, met toepassingen die variëren van medische zorg tot duurzame infrastructuur. Nederland heeft een sterke positie in de ontwikkeling van fotonische



systemen en deze PPS kan bijdragen aan het behouden en uitbreiden van deze technologische voorsprong.

25.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

De ontwikkeling van optische sensoren vereist een multidisciplinaire aanpak, waarbij innovatieve technologieën en nieuwe materialen worden gecombineerd. Voor elk toepassingsgebied zijn specifieke onderzoeksthema's geïdentificeerd:

Photoacoustics:

Gevoeligheid: Onderzoek naar optische ultrasound-transducers die gebruik maken van geïntegreerde fotonica op silicium, met een gevoeligheid die 20–100× hoger is dan conventionele piëzo-elektrische varianten.

Laagvermogen lichtbronnen: Ontwikkeling van efficiënte lichtbronnen die minder energie verbruiken zonder in te boeten op prestaties.

Golflengte-optimalisatie: Verkenning van een breder golflengtebereik om de beeldkwaliteit en penetratiediepte verder te verbeteren.

Fiber sensing:

Specifieke vezelontwerpen: Ontwikkeling van optische vezels met unieke eigenschappen, afgestemd op specifieke meetuitdagingen zoals trillingen, temperatuur of stress.

Bron- en spectrometertechnologie: Optimalisatie van lichtbronnen en spectrometers om kleine veranderingen in het optische signaal nauwkeurig te detecteren.

Geïntegreerde sensoren:

Detectiemoleculen: Onderzoek naar moleculen die specifieke stoffen in bloed, lucht of andere media kunnen detecteren door veranderingen in de brekingsindex.

Heterogene integratie: Ontwikkeling van technieken om klassieke optische componenten te combineren met geïntegreerde optica, waarbij bron, detector en sensortechnologie volledig geïntegreerd zijn.

25.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

Optische sensoren hebben een breed scala aan toepassingen in verschillende sectoren:

Medische diagnostiek:

- Foto-akoestische beeldvorming, bijvoorbeeld mammografie en intravasculaire toepassingen.
- Detectie van specifieke biomarkers in bloed voor vroege diagnose van ziektes.
- Wearable sensoren voor patiëntmonitoring en gezondheidstracking.

Infrastructuurmonitoring:

- Fiber Bragg sensoren voor het monitoren van dijken, bruggen, tunnels en andere kritieke infrastructuren.
- Detectie van trillingen en stress in windturbines en andere mechanische structuren voor preventief onderhoud.

Industrie en milieu:

- Detectie van specifieke gassen en vloeistoffen in industriële processen en milieumonitoring.
- Niet-destructieve testen en metrologie voor kwaliteitscontrole van materialen en producten.

Sport en consumententoepassingen:

- Wearables voor het monitoren van fysieke prestaties en het verbeteren van sporttraining.
- Compacte sensoren voor toepassingen in consumentenelektronica, zoals slimme apparaten en AR/VR-headsets.

25.5. Aanpak

Dit onderdeel is op moment van schrijven in ontwikkeling.

25.6. Financiering

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
Programma Totaal	15	12,75	2,25

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen											2,25
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen											12,75
Totaal		n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	15

25.7. Consortium

Dit onderdeel is op moment van schrijven in ontwikkeling.

26. Integrated Photonics: Heterogeneous Integration and platforms

26.1. Doel project

Het domein van geïntegreerde fotonische chips ontwikkelt zich snel om te voldoen aan gebruikersspecificaties in een breed scala aan toepassingen, van quantum computing tot kankerdetectie bij Point of Care.

Vanwege de diversiteit aan functionaliteiten die nodig zijn om een volledig fotonisch systeem op chip te maken (laser, detector, modulator, golfgeleiders en elektronica) worden meestal verschillende materiaalplatforms gecombineerd (chipllets of coupons). Elk materiaalplatform heeft zijn unieke voordelen zoals efficiënte of stabiele lichtgeneratie (lasers), kleine voetafdruk, hoge modulatiesnelheid of frequentiedetectiebereik.

Het doel van dit project is het ontwikkelen van technologieën die een ecosysteem van wereldklasse mogelijk maken voor heterogene integratie, met bouwstenen van de beste kwaliteit, gestandaardiseerde technische interfaces en de productietechnologieën om deze te verbinden. Deze ambitie is om het wereldwijde knooppunt te worden voor alle heterogeen geïntegreerde PIC-technologieën, door een door de EU gecontroleerde wereldwijde standaard te vestigen.

De subdoelen van dit programma zijn vierledig:

1. Het ontwikkelen van PIC-platforms om prestaties van topklasse te bereiken, inclusief de interfaces die nodig zijn voor verschillende heterogene integratietechnologieën. Deze platforms kunnen onder andere SiliconNitride, Indiumfosfide, LithiumNiobat, BariumTitanaat, AluminiumOxide, ScandiumAluminium, SOI omvatten, maar zijn niet beperkt tot deze.
2. Het ontwikkelen van heterogene integratietechnologieën voor zowel fotonisch-fotonisch als fotonisch-elektronisch integratie om integratie op waferschaal mogelijk te maken.
3. Het ontwikkelen van technisch gestandaardiseerde interface(s) voor heterogene integratietechnologieën die een geharmoniseerd ecosysteem van chipllets mogelijk maken dat naadloos geïntegreerd kan worden.
4. Onderzoek monolithische integratie van fotonisch-fotonische en elektronisch-fotonische integratie.

Deze technologieën zullen de functionaliteit, prestaties en schaalbaarheid van fotonische chips en systemen vergroten door naadloos verschillende componenten zoals lichtbronnen, detectoren, modulatoren en elektronica te integreren. Dit biedt mogelijkheden om geïntegreerde optische systemen verder te miniaturiseren, energiezuiniger te maken en aan te passen aan een breed scala aan toepassingen met behulp van beeldvorming, sensoren, communicatie en rekenen. Bijvoorbeeld in ADAS-systemen voor autonome voertuigen, draadloze communicatie, AI-datacenters, kwantumbeveiligde netwerken en computers.



Bedrijven en kennisinstellingen in Nederland zoals LioniX, Universiteit Twente, TU/e, Smart Photonics, TNO-PITC en IMEC-NL nemen een sterke positie in in fotonica en halfgeleidertechnologie.

De voortdurende investering in de PIC-platforms, heterogene integratietechnologieën en interfaces zal het volledige potentieel van de Nederlandse PIC-industrie ontsluiten en haar wereldwijde controlepunt versterken. Dit zal de industrialisatie en de commerciële trekkracht stimuleren.

26.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

De toename van het gebruik van AI-modellen drijft grote veranderingen in de sector, zowel in de AI-infrastructuur als in de toenemende behoefte om alles te detecteren om data te genereren waarop modellen kunnen trainen. Dit is relevant voor veel sectoren zoals autonome mobiliteit en agrifoodrobotica, voor gezondheidszorg, wetenschap en defensietoepassingen. Het gebruik van materialen van de beste klasse voor elke functionaliteit verbetert de prestaties van het chipsysteem aanzienlijk. Belangrijke uitdagingen zijn: de noodzaak van hogere modulatiesnelheid, frequentiedetectiebereik, stabiliteit en bereik van lichtbron, energieverbruik. Om het volledige potentieel van deze best-in-class materialen te benutten, moeten ze op chipniveau worden geïntegreerd (die-to-die of die-to-wafer). Het gebruik van discrete of hybride integratie veroorzaakt een hoger stroomverbruik, signaalverlies en is relatief duur. Heterogene integratie lost dit probleem op.

26.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

Materialen platforms:

- Welke productieprocessen, zoals lithografie, epitaxiale groei en nano-imprintingtechnieken, heterogene componenten met hoge precisie produceren.
- Welke ontwerpprincipes optimaliseren de prestaties van bouwstenen
- Geschiktheid voor verschillende golflengten (UV, VIS, IR, MID-IR)

Verdere kennisvragen worden ontwikkeld.

26.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

- Als dit project succesvol is, zullen alle grote PIC-productiebedrijven de Nederlandse standaard gebruiken voor heterogene integratie. De Nederlandse en Europese fabrikanten van chipcomponenten en onze foundries die heterogene integratiediensten leveren, zullen profiteren van het early mover-voordeel.
- Direct impact einde van het programma 2035 jaarlijk: Materiaalplatforms voor fotonische componenten: €700 miljoen, Heterogene integratiediensten: €300 miljoen, Heterogene integratie-productieapparatuur: €150 miljoen. Indirecte impact: Verkoop mogelijk gemaakt door Nederlandse gebruikers vanwege concurrentievoordeel: €3 miljard, Aantrokken buitenlandse investeringen in R&D-centra en productie vanwege

nabijheid: €1 miljard. Investerings in nieuwe start-ups die worden vrijgemaakt door Heterogene Integratietechnologieën: €500 miljoen.

26.5. Aanpak

WP 1. Process ontwikkeling voor heterogene integratie (flip-chip, micro transferprinting, laser based transfer processes)

WP 2. Ontwikkelen van interfaces voor PIC coupons voor proces compatibiliteit

WP 3. Equipment ontwikkeling voor heterogene integratie

WP 4. Ontwikkeling van AIO platform

WP 5. Ontwikkeling van TFLN platform

WP 6. Ontwikkeling van BTO platform

WP 7. Ontwikkeling van InP platform

WP 8. Ontwikkeling van SiN platform

WP 9. Equipment ontwikkeling voor platforms

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
WP 1.	21				x	x	x	x	x	x	x
WP 2.	36		X	x	x	x	x	x	x	x	x
WP 3.	7	x	x	x	x	x	x	x			
WP 4.	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
WP 5.	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X
WP 6.	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X
WP 7.	18		x	x	x	x	x	x	x	x	x
WP 8.	18		x	x	x	x	x	x	x	x	X
WP 9.	7				x	x	x	x	x	x	x

26.6. Financiering

Totale omvang projectkosten bedraagt 137 miljoen euro. Voor deze agenda wordt 126 miljoen euro opgevoerd. De kosten worden voor 40% gefinancierd door partners (contant geld in natura) en 60% uit publieke bronnen. Dit is 50/50 voor bedrijven en RTO's, 80/20 voor universiteiten (€9 miljoen subsidie per jaar, gemiddeld <€375k per partner).

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
Programma Totaal	(137)	(82,2)	(54,8)
Deze actie agenda	126	75,6	50,4

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen											
Totaal	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

26.7. Consortium

Onderzoeksinstituten: Universiteit van Twente, Technische Universiteit Eindhoven, IMEC-NL, TNO-PITC. **Heterogene integratiebedrijven:** LioniX International, New Origin, PhiX, Xiver. **Materiaalplatforms:** Smart Photonics, Aluvia, Rapid Photonics, Sabratha.

Ontwerpbedrijven: Bright Photonics, Epiphany, VTEC. **Apparatuur:** ASML, VDL, Demcon, LAM Research (Enschede), Morphotonics, Etteplan, MicroAlign, SCIL. **Standaardisatie en coördinatie:** JePPIX, PhotonDelta.

*Opmerking: bedrijven kunnen actief zijn in meerdere categorieën, maar worden slechts één keer genoemd voor de eenvoud

De volgende partijen zijn *betrokken* partijen:

Nederlandse gebruikers: Astrape, QuiX quantum, CubiQ, Thales, NanoVision, Ommatidia, Scantinel, Lightium, NXP, One-Planet, Innolume, Effect Photonics, Neways, Prodrive, Demcon, ASML. **Gebruikers van chipleets en integratieplatform:** Google (OCS Apollo, Taraa), Ipronics, Steerlight, Voyant Photonics, TSG group, Lightmatter

Buitenlandse bedrijven die chips ontwikkelen met onze standaard: GlobalFoundries, TSMC, Tower, CSM, C-Craft, Hyperlight, QCI. **Gebruikers van apparatuur en processen:** Jabil, ASE, Foxconn

27. Integrated Photonics: Advanced packaging and rapid prototyping

27.1. Doel project

1. Geavanceerde verpakings- en assemblagetehnologieën en productieapparatuur ontwikkelen voor PIC-geschikte apparaten.
2. Ontwikkeling van een geïntegreerde gedeelde faciliteit voor de ontwikkeling van nieuwe PIC-technologieën, ontwerpen en producten die snelle iteraties mogelijk maken om van idee naar volumemarkt te gaan

27.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

De drijfveer is de noodzaak om licht efficiënt te koppelen tussen chips, vezels en elektronische componenten, terwijl je hoge prestaties, weinig verlies en schaalbare productie behoudt. Naarmate PIC's complexer worden en worden gebruikt in veeleisende toepassingen zoals datacenters, lidar, sensing en quantumsystemen, kan traditionele verpakking niet de vereiste optische uitlijnprecisie, thermische stabiliteit, elektrische/optische co-integratie en kostenefficiëntie bieden. Geavanceerde verpakking maakt smallere optische toleranties, hogere integratiedichtheid, beter thermisch beheer en geautomatiseerde assemblage mogelijk—wat uiteindelijk de opbrengst verbetert, de kosten per apparaat verlaagt en PICs in staat stelt om op te schalen naar commerciële markten met grote volumes. Iteratiecycli voor PIC's in Europa duren meestal ongeveer driekwart jaar vanwege een gefragmenteerde infrastructuur en beperkte technische standaardisatie. In de semicondustrie zijn iteratiecycli van 3 maanden de norm. Na dit project zal het Nederlandse PIC-ecosysteem gelijkheid bereiken met de semicondustrie en de iteratiecyclus tot 3 maanden brengen, waardoor gesynchroniseerde fotonisch-elektronische ontwikkelingen mogelijk worden. Dit is van het grootste belang omdat bedrijven die als eerste op de markt gaan een aanzienlijk concurrentievoordeel hebben.

27.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

- Hoe kan optische koppeling tussen PIC's en vezels zeer efficiënt worden gemaakt terwijl ze tolerant blijven voor uitlijningsvariaties?
- Welke verpakingsstrategieën ondersteunen de beste heterogene integratie van fotonica met snelle elektronische IC's?
- Hoe beïnvloedt thermisch beheer in PIC-verpakkingen de stabiliteit, golflengtecontrole en langetermijn betrouwbaarheid?
- Welke materialen en bondingtechnieken maken schaalbare, geautomatiseerde en laag-verlies PIC-assemblage mogelijk?
- Hoe bepalen toepassing specifieke eisen zoals bandbreedte, vermogen en milieuduurzaamheid; geavanceerde PIC-verpakingsontwerpen?

- Hoe kunnen zeer hoge volumes worden verpakt met beperkte kosten (hoge doorloop, waferscale verpakkingen, enz.) en welke productietechnologieën kunnen dit bereiken?

27.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

Dit onderdeel is nog in ontwikkeling.

27.5. Aanpak

WP 1. Waferscale packaging

WP 2. Moulded packages

WP 3. Packaging & assembly materials and processes

WP 4. Interposers

WP 5. Shared facilities

WP 6. Equipment ontwikkeling voor advanced packaging and assembly

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
WP 1.	7			x	x	x	x	x	x	x	x
WP 2.	5			x	x	x	x	x	x	x	x
WP 3.	4			x	x	x	x	x	x	x	x
WP 4.	8	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
WP 5.	10	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
WP 6.	7			x							

27.6. Financiering

Totale projectkosten zijn 41 miljoen euro. Voor deze actieagenda wordt 35 miljoen Euro opgevoerd. Kosten worden voor 40% gefinancierd door partners (contant geld in natura) en 60% uit publieke bronnen. Dit is 50/50 voor bedrijven en RTO's, 80/20 voor universiteiten

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
Programma Totaal	(41)	(24.6)	(16.4)



Deze actieagenda	35	17,5	17,5
------------------	----	------	------

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen											
Totaal	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b	n.b

Consortium

Verpakkings- en assemblagebedrijven: Phix, Neways

Onderzoeksinstituten: CITC, IMEC-NL, PITC, TNO, TU/e, UT,

Ontwerpbedrijven: Bright Photonics, Epiphany, VTEC

Apparatuur & Data: Tegema-etteplan, werkvloer

De volgende partijen zijn *betrokken* partijen: Foundry-bedrijven: NXP, Smart Photonics, New Origin, LioniX, Xiver, Aluvia, Rapid Photonics, Sabratha



28. Integrated Photonics: Standardisation

28.1. Doel project

Het doel van dit project is het ontwikkelen van een gestandaardiseerde, veilige en geïntegreerde digitale workflow voor het volledige ontwerp, fabricage en testproces van fotonische geïntegreerde schakelingen (PIC). Het project zal een naadloze end-to-end keten leveren, waarbij ontwerptools, gieterijdiensten, metrologie, verpakking en testen met elkaar worden verbonden.

Daarnaast zullen in dit project gestandaardiseerde technologische interfaces tussen chipfabrikanten en Test & Assembly and Packaging (TAP)-aanbieders worden ontwikkeld.

Tot slot heeft dit project als doel de ontwikkelde standaarden te integreren in het internationale standaardisatielandschap door zich af te stemmen op bestaande standaarden en bij te dragen aan nieuwe standaarden zoals de IEEE, EIC, enzovoort.

Het bouwt voort op bestaande methoden van JePPIX, PhotonDelta-partners en Europese ChipsJU-initiatieven, maar introduceert voor het eerst een volledige cross-supply-chain architectuur om datawrijving te elimineren, procesfeedback te automatiseren en PIC-workflows af te stemmen op Semicon-grade standaarden.

Drivers achter de beoogde ontwikkeling

Iteratiecycli voor PIC's in Europa duren meestal ongeveer driekwart jaar vanwege gefragmenteerde infrastructuur en beperkte technische standaardisatie. In de semicon-industrie zijn iteratiecycli van 3 maanden de norm. Na dit project zal het Nederlandse PIC-ecosysteem gelijkheid bereiken met de semiconindustrie en de iteratiecyclus tot 3 maanden brengen, waardoor gesynchroniseerde fotonisch-elektronische ontwikkelingen mogelijk worden. Dit is van het grootste belang omdat bedrijven die als eerste op de markt gaan een aanzienlijk concurrentievoordeel hebben. De snelgroeende fotonica-industrie en Europa's ambitie voor technologische soevereiniteit vereisen snellere, betrouwbaardere PIC-productontwikkeling. De huidige supply chain-processen zijn gefragmenteerd: losgekoppelde cloudsystemen, verschillende standaarden, inconsistente gegevensdeling en redundante workflows vertragen innovatie. Nederland beschikt over sterke activa (JePPIX, Smart Photonics, Bright Photonics, TU/e, Salland) maar mist een gedeelde, veilige digitale ruggengraat die efficiënte multi-supplier PIC-productontwikkeling mogelijk maakt. Europese programma's (ChipsJU, EuroCDP, Pilot Lines) vereisen afstemming op Semicon-standaarden en cloudgebaseerde workflows, waardoor deze ontwikkeling essentieel is voor de concurrentiekracht. De overgang naar heterogene integratie en fabless PIC-ontwerp vergroot de behoefte aan robuuste data-interoperabiliteit en geautomatiseerde prestatievalidatie.

28.2. Kennisvragen die worden geadresseerd

- Hoe kunnen gegevens op een gestandaardiseerde en veilige manier worden gedeeld tussen ontwerpers, foundries, metrologie- en testpartners zonder gevoelige IP bloot te stellen?
- Hoe kunnen Semicon-datastandaarden (xPDK, openEPDA, data-passporting, codering/normalisatie) worden aangepast voor fotonische workflows?
- Hoe kunnen Design Kit (PDK) hardening en root-cause analyse worden versneld via geautomatiseerde feedbacklussen van test en metrologie?
- Welke cloudarchitectuur verbindt het beste propriëtaire datalakes, on-premise systemen en externe omgevingen?
- Welke API-specificaties en governance regels zijn nodig voor interoperabele, multi-leverancier design-to-test workflows?
- Hoe ziet het internationale standaardisatielandschap eruit?
- Waar en hoe kan Nederland internationale standaarden beïnvloeden om de adoptie van Nederlandse PIC-technologieën te ondersteunen?
- Welke gestandaardiseerde interfaces/specificaties optimaliseren de toeleveringsketen op het gebied van doorlooptijd, kosten, betrouwbaarheid en flexibiliteit?

28.3. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

Dit project is een onmisbare sleutel tot de concurrentiekracht van de Nederlandse industrie. Het is een must-have om alle voordelen van de technologie te plukken voor zowel onze economische groei, economische zekerheid als het oplossen van delen van maatschappelijke uitdagingen op het gebied van duurzaamheid, mobiliteit, gezondheid en veiligheid. Alle impact zal dus indirect zijn ten opzichte van de andere PPS-projecten met geïntegreerde fotonica.

Economische / industriële impact

- Aanzienlijke vermindering van ontwerptiteraties door geautomatiseerde datastromen en vroege foutidentificatie.
- Hogere volwassenheid en internationale concurrentiekracht van het Nederlandse en Europese PIC-ecosysteem.
- Verbeterde opbrengst, minder mislukkingen, snellere time-to-market en robuustere productisatieprocessen.

Technologische / maatschappelijke impact

- Versnelling van innovaties op het gebied van gezondheid, mobiliteit, sensing, telecom, datacenters en quantumtechnologieën.
- Versterkte de Europese digitale soevereiniteit via veilige ontwerpplatforms.



- Verminderd afval- en energieverbruik dankzij betere procescontrole en minder fabricageiteraties.

28.4. Aanpak

WP1 – Data architectuur

Ontwikkeling van een gedeelde data-architectuur voor de PIC-toeleveringsketen, waaronder:

- data-passporting, tagging, gecontroleerde toegang en controle;
- codering en normalisatie van gevoelige procesgegevens;
- methoden voor veilige cross-organisatie root-cause analyse;
- integratiestrategieën voor propriëtaire datalakes en cloudsysteem.

Deliverable: Databeveiliging, rechten en toegangsmethoden.

WP2 – Veilige Cloud Foundation.

Ontwerp van een veilige Semicon-compatibele cloudomgeving voor PIC-ontwerpworkflows met:

- connectiviteit en identiteits- en toegangsbeheer;
- veilige opslag en rekenkracht;
- begeleid ontwerp (van ontwerpintentie tot gemeten resultaten);
- governance, operaties, servicemanagementmodellen voor langetermijnduurzaamheid.

Deliverable: Veilige cloudbasis.

WP3 – API-specificaties & workflowintegratie

Ontwikkeling van API-frameworks die alle partnersystemen en het centrale cloudplatform verbinden:

- integratie van in-line metrologie, wafer-schaal en die-schaal testen;
- toegangscontrolemechanismen en geautomatiseerde datapolling;
- compatibiliteit met Semicon-stijl gecodeerde/genormaliseerde dataformaten;
- interfaces die volumetests, functionele tests en ontwerp-analyseomgevingen ondersteunen.

Deliverable: Blueprint voor gestandaardiseerde workflow-API's.

WP4 – Test-flow integratie en validatie

Validatie van de volledige ontwerp-naar-test workflow door:

- Analyse van bestaande partnerworkflows (zonder IP in gevaar te brengen);
- Identificatie van resterende data-wrijvingspunten;
- Implementatie van de volledige digitale workflow in vier representatieve gebruikssituaties;
- Koppeling aan PDK-hardening en procesoptimalisatie.

Deliverable: workflowanalyse en validatierapporten.

WP5 – Internationale standaarden

- Identificeer wereldwijde normen die relevant zijn voor de PIC-industrie
- Kansen identificeren om wereldwijde standaarden te beïnvloedenBijdragen aan de ontwikkeling van relevante normen

WP 6 – Gestandaardiseerde interfaces

- Identificeer huidige interfacebehoeften en standaarden
- Ontwerp gestandaardiseerde interfaces
- Ontwikkel de interfaces

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
WP 1.	3			x	x	x	x	x	x	x	x
WP 2.	3			x	x	x	x	x	x	x	x
WP 3.	3			x	x	x	x	x	x	x	x
WP 4.	3			x	x	x	x	x	x	x	x
WP 5.	2			x	x	x	x	x	x	x	x
WP 6.	8			x	x	x	x	x	x	x	x

28.5. Financiering

De totale omvang van de projectkosten bedragen 22 miljoen euro. Voor deze actieagenda wordt 20 miljoen euro opgevoerd. De kosten worden voor 40% gefinancierd door partners (contant geld in natura) en 60% uit publieke bronnen. Dit is 50/50 voor bedrijven en RTO's, 80/20 voor universiteiten

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
Programma Totaal	(22)	(13.2)	(8.8)
Deze actieagenda	20	11	9

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen											
Totaal	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Consortium

JePPIX, TuE, Salland Engineering, Bright Photonics, Epiphany Design, Bruco IC, Chain IC, Star IC, Smart Photonics, LioniX International, Xiver, New Origin, TNO, PITC, PhotonDelta.



29. Integrated Photonics: Testing and Metrology

29.1. Doel project

Het doel van het programma is het opzetten van een complete Nederlandse test-, metrologie- en validatie-infrastructuur voor fotonische Geïntegreerde Schakelingen (PIC's) via één gecoördineerd ontwikkelingsinitiatief. Dit omvat het creëren van teststrategieën, testbouwstenen en testinterfaces die functionele verificatie van fotonische chips op waferniveau mogelijk maken, waardoor chips getest kunnen worden voordat ze worden gescheiden en verpakt. Deze aanpak biedt aanzienlijke voordelen in opbrengst, kosten en tijd, en is essentieel voor heterogene systemen die afhankelijk zijn van chiplets (onverpakte chips), waarbij de betrouwbare levering van "bekende goede die" een cruciale vereiste is.

Het programma beslaat de volledige keten van PIC-testbehoeften en heeft een duidelijk ontwikkelingsdoel: het creëren van een nationaal, schaalbaar, interoperabel test- en metrologiekader dat de volledige levenscyclus bestrijkt van vroege R&D tot grootproductie:

WP1 Geavanceerde hogesnelheids-, polarisatie- en waferschaal-metrologie

- Hoogfrequente elektro-optische tests >100 GHz met routekaart naar 250 GHz
- Polarisatie-resolved en wafer-niveau metrologie
- Schaalbare, hoogdense probing en gestandaardiseerde, modulaire apparatuur

WP 2. Geautomatiseerde testinfrastructuur op die-niveau

- Technische modellen die in staat zijn om 10–10.000 matrijzen per project te verwerken
- Robotica, machine vision, geautomatiseerde uitlijning en pick-and-place-systemen
- Multi-protocol, programmeerbare testrecepten

WP 3 Toegankelijke functionele karakteriseringsdiensten op apparaatniveau

- Snelle, nauwkeurige optische en elektrische karakterisering bij imec NL
- Snelle rapportage om ontwerp cycli te verkorten
- Ondersteuning op maat van startups en kmo's

WP 4 Industrialisatiepad naar een PIC-testhuis met middel- of groot volume

- Wafer- en matrijsniveau-testcellen
- Multisite elektrische en optische testcapaciteit
- Integratie van design-for-test workflows om opbrengst en voorspelbaarheid te verbeteren



WP 5. Unified dataarchitectuur

- SEMI-E183–conforme receptdefinitie, gegevensverwerking en resultaatopmaak
- Gestandaardiseerde structuren die robuuste vergelijking, traceerbaarheid en procescontrole mogelijk maken

Samen vormen deze elementen een coherente test- en validatiepijplijn die ontwerpvalidatie, selectie van bekende goede die's, wafer- en die-niveau probing, geautomatiseerd hoogvolume-testen en databeheer omvat, afgestemd op SEMI-standaarden. Door de dominante kosten- en tijdsbottleneck in PIC-ontwikkeling en industrialisatie aan te pakken, versterkt het programma de Nederlandse soevereiniteit in de productie van fotonica en zorgt het voor langetermijn economische waarde via schaalbare, gestandaardiseerde en toegankelijke testinfrastructuur.

29.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

De industrie voor geïntegreerde fotonische chips groeit snel. De vraag stijgt, vooral in datacommunicatie en AI, terwijl sectoren zoals medische technologie, agrifood en mobiliteit ook een fase van industriële opschaling zijn ingegaan. Klanten hebben nu betrouwbare levering nodig van grote hoeveelheden hoogwaardige chips – wat de evolutie van de halfgeleiderindustrie weerspiegelt. Omdat fotonische chips echter werken met licht dat parallel aan het chippoppervlak voortplant, kan hun functionaliteit vaak niet worden getest voordat de chips gescheiden of zelfs verpakt zijn. Omdat verpakkingen tot 80% van de totale kosten kunnen uitmaken, leidt dit tot een lage opbrengst en hoge kosten. In heterogene systemen- zoals die in datacenters of lidar- worden meerdere chips direct op een andere chip of interposer gemonteerd, wat betekent dat door een enkele defecte chip de hele assemblage kan worden weggegooid. De halfgeleiderindustrie heeft al lange tijd vergelijkbare uitdagingen aangepakt door strategieën zoals het integreren van design-for-testmodules op elke chip, naast PCM-structuren voor procesverificatie. Het doel van dit programma is om vergelijkbare oplossingen mogelijk te maken voor fotonische chips en om de betrouwbare levering van Known Good Die mogelijk te maken.

Economische en industriële drijfveren

- Snelle groei in datacom/AI, quantumtechnologieën, LIDAR/sensing en gezondheidsfotonica.
- Gefragmenteerde testinfrastructuur die leidt tot een langere time-to-market en hogere iteratiekosten.
- Behoefte aan yield-verbeteringen, schaalbare automatisering en voorspelbare kwaliteit in de productie.

Technologische drijfveren

- Eisen voor >100 GHz en toekomstige 250 GHz RF-elektro-optische karakterisering.
- Gebrek aan schaalbare, geautomatiseerde testmogelijkheden op die-niveau.

- Sterke vraag van MKB's naar toegankelijke, hoogwaardige testdiensten op apparaatniveau.

Maatschappelijke en soevereiniteitsdrijfveren

- Het versterken van de Nederlandse en Europese positie in de wereldwijde halfgeleidertoeleveringsketen.
- Het verminderen van de afhankelijkheid van buitenlandse testcapaciteiten.
- Het mogelijk maken van fotonica-gebaseerde oplossingen voor energie-efficiëntie, geavanceerde detectie, medische diagnostiek en veilige datacommunicatie

29.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

Het programma behandelt een reeks kernkennisvragen die de volledige testketen beslaan— van wafer-niveau inspectie tot industriële hoogvolume-metrologie. Deze vragen zijn op meerdere niveaus geformuleerd:

1. Optimale teststrategieën voor diverse PIC-technologieën

- Wat is de optimale testmethode voor (actieve) InP-chips, sensoren en SiN-modulatoren?
- Welke aspecten van de prestaties van apparaten kunnen worden beoordeeld via inline inspectie?

2. Design-for-test inbedden in PIC-ontwikkeling

- Welke Design-for-Test-modules kunnen worden ontwikkeld om zoveel mogelijk functionaliteit elektrisch op waferniveau te testen?
- Welke opties bestaan er om optische parameters direct op de wafer te meten?
- Hoe kan DfT worden geïntegreerd in ontwikkelingsprocessen via testontwerpkits, herbruikbare primitieven en gestandaardiseerde data-annotatie?

3. Schaal RF/polarisatie-resolved elektro-optische metrologie naar omgevingen met hoog volume

- Hoe kan >100 GHz (met een roadmap naar 250 GHz) RF/polarisatie-opgeloste metrologie worden opgeschaald naar HVM?
- Wat zijn de vereisten voor high-density probing, modulaire ATE-integratie, ruis en langetermijnstabiliteit?

4. Geautomatiseerde die-level testing met hoge doorvoer en hoge precisie

- Wat is er nodig om geïntegreerde matrixen functioneel te testen zodat ze als Known Good Die (KGD) kunnen worden verzonden?
- Hoe kunnen robotica, vision alignment, multisite probing en botsingsvermijdingsworkflows hoog-doorvoergeautomatiseerd testen ondersteunen?

5. Industrialisatie en standaardisatie van testworkflows

- Hoe kunnen elektrische en optische interfaces worden afgestemd op testapparatuur met groot volume om standaardisatie te maximaliseren?

- Welke datastructuren en workflows zijn vereist voor SEMI-uitgelijnde testinteroperabiliteit, waaronder SEMI E183-conforme receptdefinitie, gestandaardiseerde dataformaten en geautomatiseerde analysepijplijnen?
- Hoe kunnen R&D-gerichte tests worden geharmoniseerd met middelgrote/grootvolume productie (MVM/HVM) testen, zodat soepele overgangen van engineeringmodellen naar productieplatforms worden gegarandeerd?

Samen vormen deze kennisvragen de basis voor de ontwikkeling van een uniforme, schaalbare en interoperabele nationale test- en metrologie-infrastructuur voor fotonische geïntegreerde schakelingen.

29.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

Kortetermijnimpact (0–3 jaar)

- 6–9 maanden vermindering van ontwerp-, fabricage-testcycli.
- Snelle beschikbaarheid van testen met bekende goede matrijzen.
- Prototyping ondersteund door geautomatiseerde engineeringmodellen (Test2Scale).
- Directe toegang tot hoogwaardige metrologie die voorheen niet beschikbaar was in NL.

Langetermijnimpact

- Oprichting van een Europees leidend PIC-testhuis
- Nederlandse soevereiniteit in een kritisch halfgeleiderdomein.
- Versterkte concurrentiekracht van >30 ecosysteembedrijven.
- Lagere milieubelasting door verminderde herfabricagecycli.
- Verbeterde opbrengst, betrouwbaarheid en productkwaliteit in datacom, sensing, medische en quantumfotonica.

Bredere maatschappelijke impact

- Inzet van fotonica in de gezondheidszorg, biotechnologie, energie en veilige communicatie.
- Versnelde innovatie- en commercialiseringscycli voor Nederlandse deep-tech-startups.

29.5. Aanpak

WP	Naam	Scope
WP1	R&D Metrology & High-Frequency EO/Polarization Testing	High-frequency test (>100 GHz), polarization, wafer probing
WP2	Scalable Die-Level Engineering Model	Die-level automation, robotics, scalable test capacity
WP3	Functional Device-Level Testing Services	Device characterization, small-volume services

WP4	Industrialization for MVM/HVM Testhouse	Production-grade wafer/die test systems
WP5	Data Framework & Standardization	SEMI E183, EZ-Gateway, workflows, analytics
WP6	Project Management	Coordination, reporting, ecosystem alignment
WP7	Equipment for HVM test and metrology	Developing new equipment concepts

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.	7				x	x	x	x	x	x	x
2.	5		x	x	x	x	x	x	x	x	x
3.	7				x	x	x	x	x	x	x
4.	20				x	x	x	x	x	x	x
5.	3				x	x	x	x	x	x	x
6.	3				x	x	x	x	x	x	x
7.	12	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

29.6. Financiering

De totale omvang van de projectkosten bedraagt 57 miljoen euro. De kosten worden voor 40% gefinancierd door bedrijven (contant of in natura), de overige 60% uit publieke bronnen. Dit betekent 50/50 voor bedrijven en RTO's, 80/20 voor universiteiten

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
Programma Totaal	57	34.2	22.8

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd



Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen											
Totaal	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Consortium

PITC (TU/e, TNO, UT), Bright Photonics, IMS, Workfloor, imec NL, Salland Engineering, Smart Photonics, New Origin, LioniX International en aanvullende industriële ecosysteempartners zijn als bijdragers en begunstigden opgenomen.

30. Integrated Photonics: Defense, security and space

30.1. Doel project

PIC's hebben het potentieel om veel optische systemen te revolutioneren door veel functionaliteiten in één chip te integreren. De toepassingsgebieden die van de voordelen profiteren zijn defensie, veiligheid en ruimtevaart. De specifieke eisen voor deze toepassingsgebieden verschillen vaak aanzienlijk van commerciële toepassingen, waardoor PIC's en hun systemen verschillende ontwerpen vereisen. Voorbeelden van verschillende eisen zijn: stralingsharding, temperatuurstabiliteit, betrouwbaarheid, bereik, oogveiligheid. Doel is de volgende systemen te ontwikkelen voor defensie, veiligheid en ruimtevaart:

- Optical gyroscopes
- FMCW Lidar
- Optical Wireless Communication (terrestrial & space)
- Structural Integrity measurement (FBG)
- Terahertz sensing
- Radar
- Biosensing: mobile healthcare systems and biohazard detection
- Quantum Key Distribution
- Anti-spoofing time stamping
- Optical quantum sensing

30.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

Defensie en veiligheid zijn belangrijke speerpunten geworden voor Europese overheden, gedreven door de ambitie om strategische autonomie te bereiken. In de Verenigde Staten fungeren het Department of Defense (DoD) en DARPA als early adopters van PICs, waarbij zij de ontwikkeling ervan stimuleren (bijvoorbeeld via een investering van 321 miljoen dollar in gedeelde faciliteiten: <https://www.photonics.com/Articles/AIM-Photonics-Awarded-321M-from-Air-Force-SUNY/a67467>). Deze symbiose kan beide drijfveren tegelijk aanpakken: meer strategische autonomie op het gebied van defensie, veiligheid en ruimtevaart, én tegelijkertijd een impuls voor de economische autonomie van de halfgeleider- en PIC-industrie. Bovendien draagt het ontwikkelen van Defensie-technologieën ook bij aan strategische autonomie.

30.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

- Hoe kunnen technologieën als FMCW LIDAR en optische gyroscopen verder worden ontwikkeld zodat ze aan de prestatie-eisen van Defensie op het gebied van power consumptie, robuustheid en miniaturisatie voldoen en zonder verstoring in autonome voertuigen of drones kunnen worden ingezet

- Hoe kan een volledige geïntegreerde optische communicatie technologie worden ontwikkeld die naadloos werkt in het veld, met drones en vliegtuigen op schepen en met satellieten met een hoge betrouwbaarheid , snelle uitrol en hoge robuustheid
- Om hoge inzetbaarheid van vliegtuigen onder meer helikopters en drones te garanderen is het meten van de structurele integriteit van groot belang, hoe kan dit overal snel worden geïmplementeerd met gebruik van FBG fiber technologie
- Het verspreiden van pathogenen of gevaarlijke stoffen is een toenemende bedreiging zowel voor burgers als militairen. Snelle detectie op locatie is dan van levensbelang. Fotonische Biosensoren bieden de mogelijkheid om snel en op locatie met compacte apparatuur te meten. Daarvoor zijn een aantal technologieën beschikbaar zowel voor gassen, pathogenen als gifstoffen en drugs. Wat is de optimale combinatie van technieken om in te zetten en hoe moeten die tot compacte en robuuste systemen worden ontwikkeld?
- Afluisteren en verstoren van communicatie is een toenemende bedreiging voor veiligheid en betrouwbaarheid van communicatie, methodes voor quantumversleuteling en time stamping zijn daarvoor van levensbelang.

30.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

- €900M - FMCW Lidar
- €750M- Optical Wireless Communication (terrestrial & space)
- €300M - Quantum Key Distribution
- € 75M - FBG
- € 55M - Optical gyroscopes
- € 50M - Anti-spoofing time stamping
- € 30M – Radar
- € 15M - Biosensing: mobile healthcare systems and biohazard detection
- € 10M - Optical quantum sensing
- Tbc – THz sensing

30.5. Aanpak

De verschillende technologieën en toepassingen vragen om verschillende werkpakketten partners en implementatie. Door de hoge urgentie en de mogelijkheid om verder te gaan op basis van eerder ontwikkelde basicconcepten is de doorlooptijd gemiddeld 5 jaar.



WP 1 – FMCW LiDAR

Ontwerp van een FMCW LIDAR systeem zowel voor korte afstand (50-100m) als long range (1 km) met optische beamsteering voor volledige integratie in heterogene unit. Advanced signal processing voor gebruik ook onder moeilijke omstandigheden van TRL 4 naar TRL 7

WP 2 – Optische Draadloze Communicatie (Terrestrisch & Ruimte)

Ontwerpen van een volledige geïntegreerde keten van optische communicatiemethodes van lokaal (Li-fi technieken) tot communicatie met vliegtuigen en satellieten ontwikkeling essentiële basis-technologieën zoals hoog vermogen geïntegreerde lasers met hoge stabiliteit, beamsteering methodes en geavanceerde signaal verwerking. Van TRL 4 naar 7.

WP 3 – Quantum Key Distribution (QKD)

Integratie van bronnen, modulators en detectoren voor chipgebaseerde QKD voor zowel bedraden als onberaden communicatie kanalen.

WP 4 – FBG-Systemen

Ontwikkeling van snel toepasbare en schaalbare methodes om FBG technologie in een veelheid van applicaties toe te passen. Van TRL 5 – TRL 7.

WP 5 – Optische Gyroscopen

Ontwerp van een volledig geïntegreerde driedimensionele fotonische gyroscoop die aan eisen van zowel drones als voertuigen kan voldoen in situaties waarin GPS signalen verstoord zijn. Zeer compact design en hoge robuustheid. Van TRL 4 naar 7 met een Europese supply chain

WP 6 – Anti-Spoofing Timestamps

Ontwerp van fotonische circuits voor nauwkeurige, beveiligde tijdstempeling om spoofing van signalen te voorkomen.

WP 7 – Radar (Fotonisch / Hybride Systemen)

Ontwikkeling van fotonische componenten voor radar systemen. Ontwerp van optische frequentievermenigvuldiging en beamforming. Integratie met microgolfelektronica. Testen van bandbreedte, SNR, resolutie en coherentie.

WP 8 – Biosensing

Vaststellen van de meest serieuze bedreigingen en de meest geëigende optische methodes voor detectie (of een combinatie ervan) opzetten en uitvoeren van een integratieprogramma en uitlees apparatuur die onder moeilijke omstandigheden lokaal te gebruiken is.

WP 9 – Optische Quantum Sensing

Ontwikkeling van fotonische circuits voor geperste, verstrengelde of enkel-foton toestanden. Optimalisatie van bronnen, interferometers en detectoren. Karakterisatie van ruis en behoud van quantumvoordelen.

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1.	27		x	x	x	x	x	x	x	x	x
2.	12		x	x	x	x	x	x	x	x	x
3.	14		x	x	x	x	x	x	x	x	x
4.	16				x	x	x	x	x	x	x
5.	12		x	x	x	x	x	x	x	x	x
6.	4		x	x	x	x	x	x	x	x	x
7.	12		x	x	x	x	x	x	x	x	x
8.	8				x	x	x	x	x	x	x
9.	7				x	x	x	x	x	x	x

30.6. Financiering

De totale omvang van de projectkosten zijn 112 Mln. EUR. De kosten worden voor 50% gefinancierd door *partners* (cash of in-kind). De kosten worden voor 50% gefinancierd uit publieke bron. 50/50 voor bedrijven & instituten, 80/20 voor universiteiten. (€9M subsidie jaarlijks over 10 jaar, <€250k / partner jaarlijks gemiddeld).

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
Programma Totaal	112	56	56

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen											

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen											
Totaal	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Consortium

Instituten: TNO, ESA, TU/e, UT, TUD, UL, UVA/VU, Astron, Saxion

- Optical gyroscopes – Start-up, LioniX, New Origin, UT, Sabratha, PhiX, TNO
- FMCW Lidar – NXP, Scantinel, PhiX, IMEC-NL, Smart Photonics, New Origin
- Optical Wireless Communication (terrestrial & space) – Airbus, ESA, Signify, FSO Instruments, Aircision, TNO, TU/e
- Structural Integrity measurement (FBG) – PhotonFirst, Smart Photonics, TNO, Saxion
- Radar – Thales, LioniX, Smart Photonics, New Origin, TU/e, UT
- Biosensing: mobile healthcare systems and biohazard detection – SufriX, TNO, One-Planet, New Origin
- Quantum Key Distribution: Cubiq,
- Anti-spoofing time stamping – OPNT, Astron, LioniX, Smart Photonics
- Optical quantum sensing – UT, LioniX, ESA, TUD, New Origin

** bedrijven kunnen actief zijn in meerdere categorieën maar zijn 1 maal genoemd.*

De industriële gebruikers zijn drone bedrijven, vliegtuigbouwers en bouwers van autonome voertuigen. Voor de communicatietechniek zijn daarnaast bedrijven als Thales, Signify en anderen betrokken. VDL, Demcon en TSG groep zijn in meerdere ketenschakels betrokken.

31. Integrated Photonics: nextgen digital technologies

31.1. Doel project

Het verminderen van de ecologische voetafdruk van digitale technologieën door:

- Transceivers voor AI en datacenters
- Optische schakelaars
- Quantumcomputing
- Draadloze communicatie in het RF-domein
- Augmented Reality

31.2. Drivers achter de beoogde ontwikkeling

De opkomst van nieuwe digitale en communicatietechnieken en daarnaast de opkomst van quantum computing gaat een revolutie ontketenen op een groot aantal gebieden.

Tegelijkertijd is het energieverbruik van deze technieken een limitering op de toepassing. Door toepassing van fotonische technologieën zijn zowel inhoudelijke doorbraken als een reductie van het energieverbruik mogelijk.

31.3. Kennisvragen die worden geadresseerd

- Welke combinatie integratietechnieken en fotonische componenten (denk ook aan materiaal eigenschappen van verschillende platformen) bied de beste performance en prijs?
- Welke thermal stresses ontstaan in systemen met verschillende chip platformen, welke invloed hebben integratie technieken hierop en welke technieken kunnen dit mediëren?
- Welke architectuur leid tot de beste systeem performance, ook gelet op de maakbaarheid en kostprijs.

31.4. Impact op verdienvermogen en bijdrage maatschappelijke uitdagingen

De snelle opkomst van AI gaat met een explosie in het energiegebruik gepaard. Door de aard van AI is een van de belangrijke oorzaken het vele datatransport wat nodig is, als dit volledig fotonisch kan worden kan het energieverbruik vna datacenters met tot 60% naar beneden. De benodigde technieken voor lasers, snelle modulators en fotonische switches worden in Nederland ontwikkeld. De markt hiervoor is nu al tientallen miljarden Euro en groeit exponentieel. Door hier een deel van te hebben creëert dat zowel een grote markt waar ook Nederlandse test en productieapparatuurbouwers van profiteren en bevordert het tevens onze strategische autonomie

Quantum computing heeft zowel de belofte om tot nu toe onoplosbare problemen op te lossen in biologie, chemie en materiaalkunde als ook alle bestaande beveiligingen te kunnen



kraken. Er wordt aan vele methodes gewerkt ook in Nederland. Al die methodes hebben fotonica nodig voor genereren of transporteren van qubits. De meest vergaande is een volledig fotonische oplossing waar ook in Nederland aan wordt gewerkt (QUIX). Vergeleken met cryogene systemen is dit veel energiezuiniger maar de methodes om zoveel qubits te kunnen hanteren vraagt om doorbraken in ultra lage verliezen optische processors op waferschaal niveau. Dat past bij ambities om in Nederland een passende foundry te hebben. Wireless communication in RF domain, is een nieuwe set technieken om het energieverbruik in de zogenaamde backhaul van mobiele telecommunicatie zo lang mogelijk in het optische domein te houden en pas zo laat mogelijk te vertalen naar RF. Dit levert flinke energiebesparingen op en ook miniaturisatie van mobiele stations. Door de opkomst van 5G en daarna 6G worden dit er steeds meer en wordt het ook steeds moeilijker om de hogere snelheden met beperkt vermogen te halen. De Nederlandse industrie kan zowel de fotonische als elektronische componenten maken. De base station markt zal naar verwachting 145 miljard\$ zijn in 2030 en groeit met 19% CAGR. Augmented reality levert nieuwe mogelijkheden op in zowel consumenten- als professionele toepassingen om met de omgeving te interacteren. Zowel in gaming als bijvoorbeeld montage of reparatie van complexe tools, of medische toepassingen zijn binnen bereik. De Nederlandse industrie kan een positie innemen bij supercompacte fotonische lichtbronnen en componenten voor brillen, De markt daarvoor wordt verwacht 68 miljard te zijn in 2033. Daarvoor is een continue verbetering nodig van componenten om betrouwbaarheid en energieverbruik te optimaliseren.

31.5. Aanpak

Projecten worden opgedeeld in verschillende werkpakketten en -partners. Door de snelle ontwikkelingen zijn tijdlijnen op 5 jaar bepaald behalve quantum wat 10 jaar tijdlijn heeft.

WP 1 AI tranceivers en switches

De opkomst van AI leidt tot nieuwe architecturen van datacenters. Door de huidige explosieve vraag is in eerste instantie verbetering van tranceivers gevraagd, vervolgens co-packaged optics en daarnaast volledig fotonische switches. Alle oplossingen hebben betere lasers nodig, snellere modulators en detectors en toenemend complexere vormen van heterogene integratie. Op al deze gebieden spelen Nederlandse bedrijven en instituten een rol. Het is van groot belang dit om te zetten in een geïntegreerde benadering om dit om te zetten in commerciële oplossingen

WP2 Quantum computing

Fotonische computers hebben als voordeel dat ze niet gekoeld hoeven worden tot cryogene temperaturen wat het bouwen eenvoudiger goedkoper en energiezuiniger maakt. Tegelijkertijd is het genereren van 1 miljoen fysieke qubits om tot een 100bit universele quantumcomputer te komen een grote schaalbaarheidsuitdaging. Waferscal processors met ultra lage verliezen en nieuwe detectoren met hoge quantumopbrengst zijn essentieel.

WP 3 Wireless RF (6G+)

Deze oplossingen vormen een grote potentiële markt op korte termijn omdat ze kostendoorbraken beloven. De daarvoor benodigde conversietechnologieën moeten ontwikkeld worden met voldoende lage verliezen om low power stations te kunnen maken

WP4 augmented reality

Om AR/VR geschikt te maken in industriële, medische en consumententoepassingen zijn grote verbeteringen nodig in super kleine efficiënte moduleerbare lichtbronnen en projectie componenten. Hierin heeft Nederland een goede startpositie. Verder is dit ook een grote markt voor productieapparatuur

Werkpakket	Omvang (MEUR)	Globale looptijd									
		2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
1	80	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2	60			x	x	x	x	x	x	x	x
3	35				x	x	x	x	x	x	x
4	25	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

31.6. Financiering

De totale omvang van de projectkosten zijn €200 Mln. EUR. Kosten worden voor 40% gefinancierd door *partners* (cash of in-kind) en voor 60% gefinancierd uit publieke bron.

Tabel 1: Indicatie van de kosten per werkpakket naar bron

Werkpakket	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
Programma Totaal	200	120	80

Tabel 2: Financiering innovatieprogramma in de tijd

Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Bestaande activiteiten/ bestaande middelen											
Nieuwe activiteiten/ bestaande middelen											



Type	Beoogde financiering (MEUR)										
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	Totaal
Nieuwe activiteiten/ nieuwe middelen											
Totaal	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Consortium

Instituten: TNO-PITC, University Twente, university Eindhoven, IMEC NL

Dutch users: Quix, Astrape Effect photonics, Lionix, Brilliance, Qubic, Innolume

Manufacturers: Phix, SMART Photonics, Epiphany, Bright photonics, New Origin, Salland, Neways. Geïnteresseerden: Demcon, KPN, Surfnets.

Quantum		PPS	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
	13	1. Quantum sensors	20	15	5
	14	2. Pioneer	2,5	2	0,5
	31	3. Integrated Photonics "Digital technologies"	60	36	24
		Programma Totaal	82,5	53	29,5
Energie&Milieu		PPS	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
	15	1. H2 sensing	3,75	2,6	1,15
	16	2. Innovatieve PVA voor satellietconstellaties	20	10	10
	17	3. Remote sensing	50	25	25
	18	4. Lighting the future	18	15,3	2,7
		Programma Totaal	91,75	52,9	38,85
Autonome Systemen		PPS	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
	19	1. Autonomous systems	7	5	2
	31	2. Integrated Photonics "Digital technologies"	25	15	10
		Programma Totaal	32	20	12
Onderzoek		PPS	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
	20	Computational optics	15	12,8	2,3
	21	Optische systemen KI	15	12,8	2,3
	22	Optical components	15	12,8	2,3
	23	Optical designs	15	12,8	2,3
	24	Sources	9	7,7	1,4
	25	Sensors	15	12,8	2,3
	26	Heterogeneous integration	126	75,6	50,4
	27	Packaging and prototyping	35	17,5	17,5
	28	Standardisation	20	11,0	9,0
	29	Integrated photonic testing & metrology	57	34,2	22,8
		Programma Totaal	322	209,7	112,3
Ecosysteem		PPS	Kosten Totaal (MEUR)	Publiek (MEUR)	Privaat (MEUR)
		Ecosysteem	10	10	0
		Optical Systems	20	20	0
		Integrated Photonics	35	35	0
		Onderzoek support	1	1	0
		Infrastructuur	2,5	2,5	0
		Financiering	2	2	0
		Financiering Instrument	120	60	60
		Business development	2,5	2,5	0
		Internationalisering	1	1	0
		Regelgeving	2	2	0
		Ecosysteem totaal	196	136	60
		Totaal	1092	686	406
		PPS	896	550	346
		Instrument	120	60	60
		Ecosysteem	76	76	0