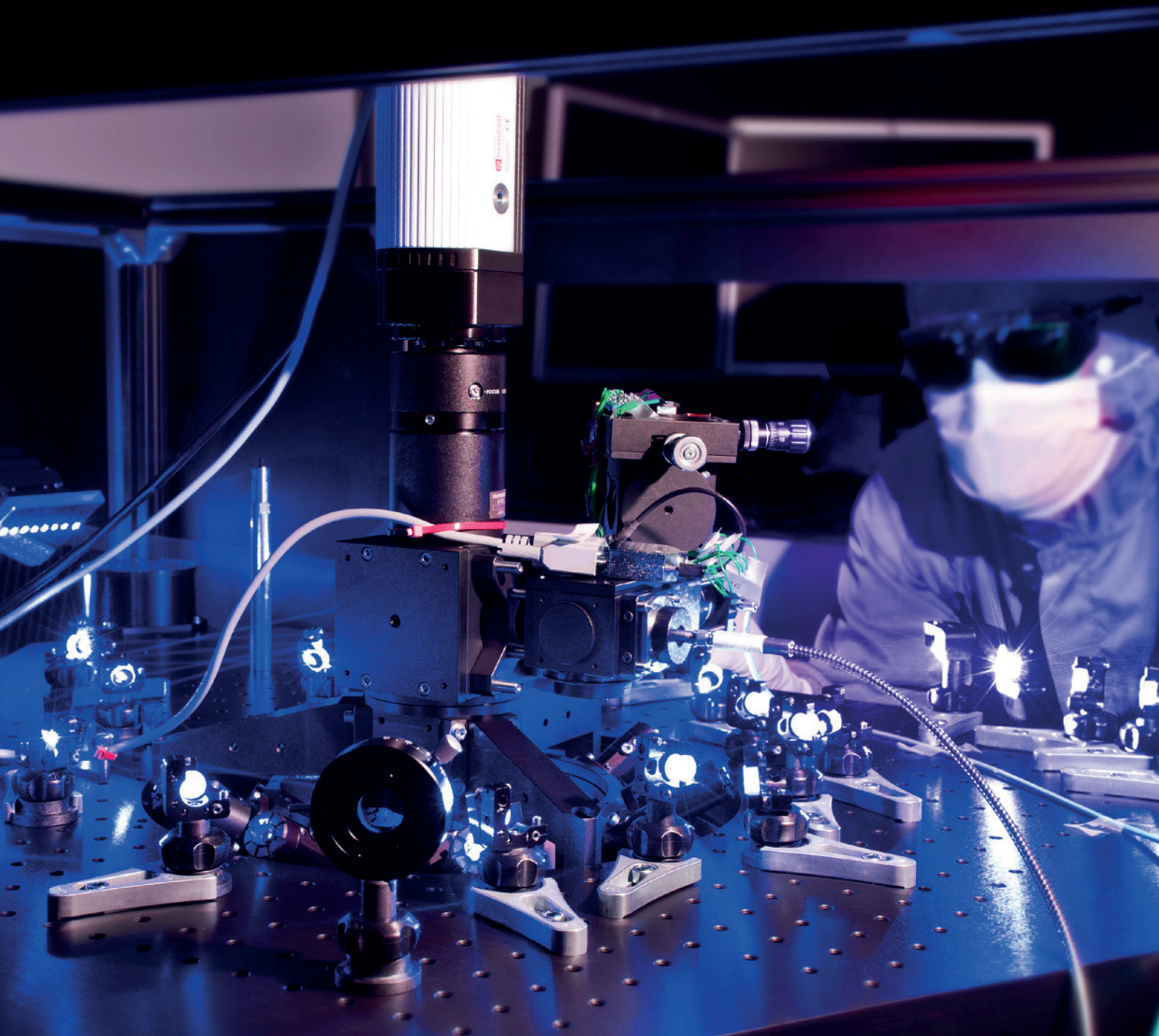




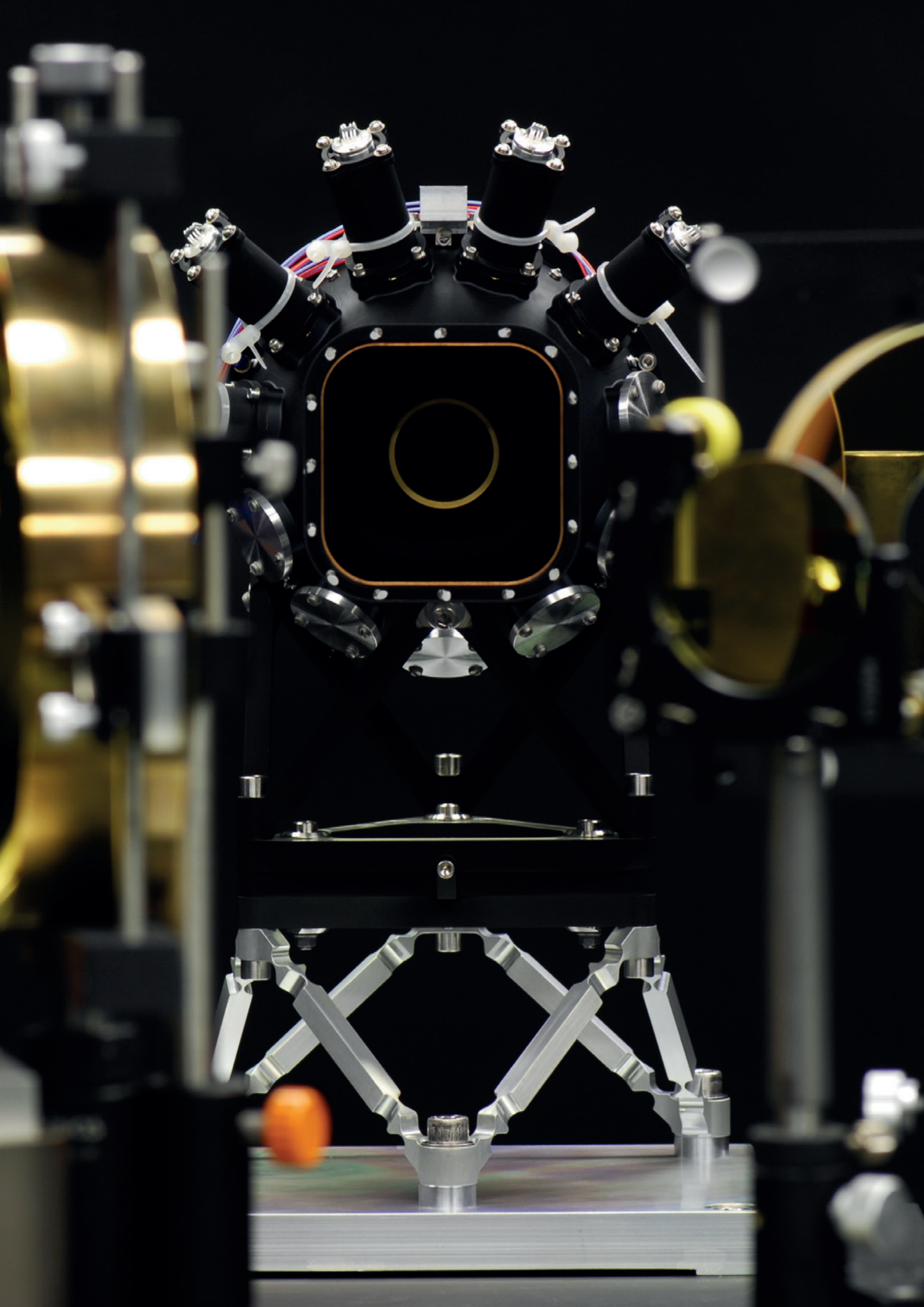
# NATIONALE AGENDA **FOTONICA**





NATIONALE  
AGENDA  
**FOTONICA**

Juli 2018



# INHOUDSOPGAVE

Samenvatting.....	4
Voorwoord.....	7
<b>1 Inleiding .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Nederlandse ontwikkelingen in internationaal perspectief .....</b>	<b>11</b>
2.1 Positie van Nederland in internationale markt.....	11
2.2 Economische impact van fotonica.....	13
2.3 Relatie met maatschappelijke uitdagingen.....	14
2.4 Nieuwe technologieontwikkelingen in Nederland .....	15
2.5 Conclusie: Krachtig inzetten op unieke internationale niches en doorbraakinnovaties .....	15
<b>3 Het Nederlandse fotonicalandschap .....</b>	<b>17</b>
3.1 Bedrijven.....	17
3.2 Onderzoeksinstituten.....	18
3.3 Netwerken en samenwerkingsverbanden.....	19
3.4 Kennisagenda's, topsectoren en roadmaps .....	21
3.5 Conclusie .....	22
<b>4 Kansrijke clusters .....</b>	<b>23</b>
4.1 Gezondheid.....	26
4.2 Maakindustrie .....	28
4.3 ICT.....	30
4.4 Semicon.....	31
4.5 Energie & Milieu.....	33
4.6 Agrifood .....	35
4.7 Conclusies uit de cluster sessies.....	37
<b>5 Agenda voor de toekomst .....</b>	<b>39</b>
5.1 Awareness en branding .....	39
5.2 Investeringsinitiatieven.....	40
5.2.1 Photonics Technology for Health Centre.....	41
5.2.2 Fotonica voor de maakindustrie .....	42
5.2.3 Photonics for Safe & massive data communication.....	43
5.2.4 Fotonica voor Semicon.....	44
5.2.5 Fotonica voor Milieu- en klimaatmonitoring en energie.....	45
5.2.6 Fotonica voor Agrifood .....	46
5.2.7 Dutch Optics Centre.....	47
5.2.8 PhotonDelta .....	49
5.2.9 Acties om de investeringsinitiatieven tot een succes te maken .....	49
5.3 Kennisroadmaps .....	50
5.4 Skills en educatie.....	50
<b>6 Randvoorwaarden.....</b>	<b>53</b>
6.1 Organisatie .....	53
6.2 Financiën .....	53
<b>7 Bijlagen .....</b>	<b>56</b>
7.1 Lijst van bij ontwikkeling van de agenda betrokken personen en organisaties .....	56

Foto links: Calibratie van de James Webb Space Telescope (NASA, TNO)

# SAMENVATTING

Fotonica is de sleuteltechnologie die de eigenschappen van licht benut voor een groot aantal toepassingen zoals detectie, datacommunicatie en productietechnologie. De technologie speelt een grote rol in het succes van de Nederlandse hightech industrie. Daarnaast levert fotonica een belangrijke bijdrage aan het oplossen van maatschappelijke uitdagingen bijvoorbeeld door klimaatmonitoring.

De fotonicamarkt is sterk in ontwikkeling. De wereldwijde groei van de fotonica-industrie wordt ingeschat op 40% in de komende vijf jaar; Nederland is binnen de EU een van de koplopers. Bijna 300 Nederlandse bedrijven waarvan een groot aandeel mkb werken direct aan fotonica-producten, met een geschatte totale omzet van meer dan 4 miljard euro.

De doelstelling van deze Nationale Agenda Fotonica is om de toepassing van fotonicatechnologieën voor het oplossen van maatschappelijke uitdagingen en het creëren van nieuwe bedrijvigheid te intensiveren en te versnellen. Hierbij wordt onder andere ingezet op het bundelen van krachten: er worden gezamenlijke initiatieven en clusters voorgesteld, waarbij Nederland zich internationaal als één coherente fotonische regio presenteert.

In Nederland zijn, voor de zes kansrijke toepassingsdomeinen, zes clusters van bedrijven en kennisinstellingen geïdentificeerd.

### Agenda van de toekomst:

- Vanuit de zes toepassingsgerichte clusters, en twee basistechnologie-clusters, Dutch Optics Centre en PhotonDelta, zijn tezamen acht investeringsinitiatieven voor nieuwe technologieontwikkeling ontwikkeld.
- Voor de gehele sector zal worden ingezet op awareness- en branding, kennisroadmaps, skills en educatie.
- Deze activiteiten worden uitgevoerd in een achtjarig programma, dat zo veel mogelijk zal worden uitgevoerd door bestaande structuren en organisaties.

### Financiering

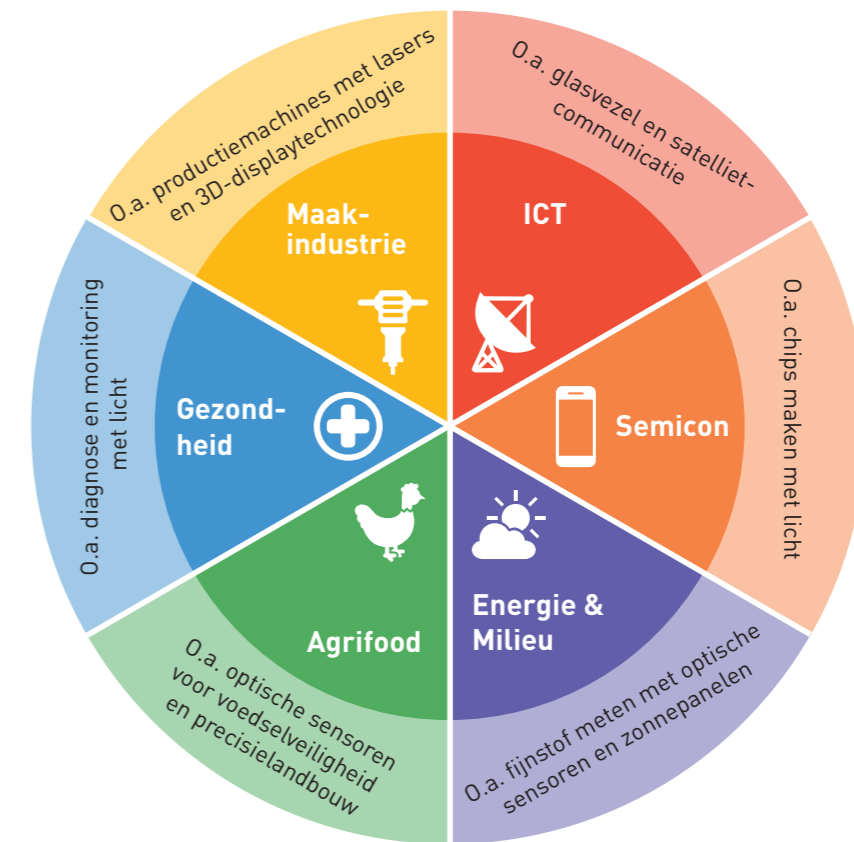
Voor de investeringsinitiatieven in het kader van de Nationale Agenda Fotonica is een totaal investeringsbedrag voorzien van ordegrrootte 60 miljoen euro per jaar, dat deels publiek en deels privaat zal worden gefinancierd. Dit als versterking van de honderden miljoenen die nu reeds in fotonica door de markt worden geïnvesteerd.

### Investeringsinitiatieven

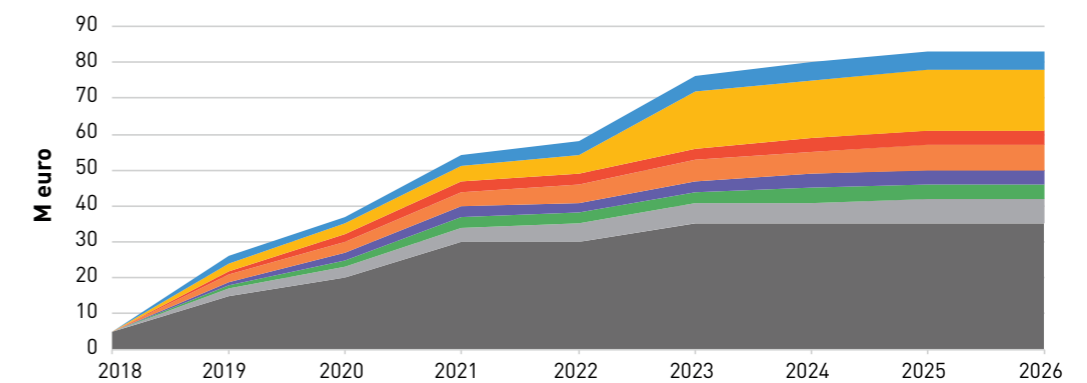
- Photonics Technology for Health Centre
- Fotonica voor de maakindustrie
- Fotonica voor Semicon
- Photonics for Safe & massive data communication
- Fotonica voor Agrifood
- Fotonica voor Milieu- en klimaatmonitoring en energie
- PhotonDelta
- Dutch Optics Centre

### Zes kansrijke clusters:

Gezondheid, Maakindustrie, ICT, Semicon, Energie & Milieu en Agrifood



### Globale financiering Nationale Agenda Fotonica, initieel gecommiteerd en beoogd



- PhotonDelta (initieel gecommiteerd)
- Fotonica voor Agrifood (beoogd)
- Fotonica voor Semicon (beoogd)
- Fotonica voor de Maakindustrie (beoogd)
- Dutch Optic Centre (beoogd)
- Fotonica voor Milieu- en klimaatmonitoring en energie (beoogd)
- Photonics for Safe & massive data communication (beoogd)
- Photonics Technology for Health Centre (beoogd)

# VOORWOORD



## Door Marc Hendrikse

De hightech industrie is van groot belang voor de Nederlandse economie. Een belangrijk deel van onze welvaart en exportpositie danken we aan innovatieve bedrijven als ASML en Philips, met daar omheen een groot segment, gevarieerd en robuust midden- en kleinbedrijf.

Fotonica, dé sleuteltechnologie die alle producten en componenten mogelijk maakt waarin licht een belangrijke rol speelt, is een succesfactor van onze hightech industrie, nu en in de toekomst. Het hart van de machines van ASML, wereldleider op zijn gebied, is gebaseerd op fotonische technieken.

Fotonica levert een belangrijke bijdrage aan het oplossen van maatschappelijke uitdagingen. Een goed voorbeeld daarvan zijn de satellietinstrumenten die in Nederland gemaakt worden voor klimaatmonitoring. Maar ook in nieuwe technologie voor medische zorg spelen fotonische componenten een steeds grotere rol.

Het is van groot belang voor Nederland dat we met kracht investeren in deze technologie. In het regeerakkoord wordt fotonica expliciet als sleuteltechnologie benoemd die aan de basis staat van talloze nieuwe – nu nog onbekende – toepassingen.

Ik ben dan ook blij met deze ambitieuze Nationale Agenda Fotonica. Deze geeft richting aan wat er moet gebeuren om een versnelling op dit onderwerp mogelijk te maken zoals een betere internationale branding, toonaangevende innovatieprogramma's en het opleiden van geschikt personeel. Het publiek-private samenwerkingsverband PhotonDelta, dat nu ontstaat uit een bundeling van krachten van Rijk, provincies, kennisinstellingen, mkb, industrie en de topsector HTSM, is een krachtige eerste invulling van het regeerakkoord. Dit sluit naadloos aan op de ambities van deze agenda en op het vernieuwde topsectorenbeleid.

Deze agenda zie ik dan ook als een uitnodiging aan bedrijven, kennisinstellingen en overheden om mee te doen in de versnelling van fotonica. Er wordt gezegd dat de twintigste eeuw de eeuw was van het elektron. Als de eenentwintigste eeuw de eeuw wordt van het foton, dan is dit dé kans voor Nederland om internationaal koploper te worden.

*Marc Hendrikse, boegbeeld topsector High Tech Systemen en Materialen (HTSM)*



**Fotonica is de technologie die zich richt op het opwekken, transporteren en detecteren van lichtgolven en lichtdeeltjes, ook wel fotonen genoemd. Fotonische oplossingen zijn een antwoord op de groeiende behoefte op het gebied van communicatie, voedselproductie, wooncomfort, digitalisering van de industrie en gezondheid.**

## 1 / INLEIDING

Fotonica is een technologie, die in veel producten wordt toegepast. Producten die we dagelijks gebruiken, zoals de camera's in mobiele telefoons, internet en verlichting. Ondanks dat fotonica bij het brede publiek relatief onbekend is, liggen er voor Nederland grote kansen in besloten. Deze Nationale Agenda Fotonica geeft inzicht in wat die kansen voor Nederland zijn en hoe we die kunnen verzilveren.

Fotonische oplossingen zijn het antwoord op de groeiende behoefte op het gebied van communicatie, voedselproductie, wooncomfort en gezondheid, met een minimale belasting van de leefruimte. De verwachte economische groei van de fotonica-industrie is veel hoger in vergelijking met de groei van de economie in het algemeen. De wereldwijde groeicijfers voor de fotonica-industrie worden geschat op 6,4% per jaar tot 2020<sup>1</sup>.

Niet voor niets wordt fotonica gezien als één van de belangrijke sleuteltechnologieën voor de toekomst, zowel in de Europese Commissie, in de Kennis- en Innovatieagenda (KIA)<sup>2</sup> als in de topsector HTSM, die recent de Photonics Roadmap 2018 heeft gepubliceerd.

Nederland heeft van oudsher een sterke positie in fotonica. Dat komt onder andere door een rijke ervaring in de ontwikkeling van optische instrumenten waarmee Christiaan Huygens al in 1690 is gestart. Toonaangevende bedrijven van vandaag, zoals Philips en ASML, vinden hun oorsprong in de fotonica, maar dat geldt ook voor een grote reeks van kleine opkomende innovatieve bedrijven. Voor Nederland is het van

belang om voorop te blijven lopen op fotonica-gebied in verband met werkgelegenheid, toekomstige economische groei en het oplossen van maatschappelijke uitdagingen.

Deze Nationale Agenda Fotonica geeft invulling aan de ambitie van het kabinet, zoals vastgelegd in het regeerakkoord, om deze voor Nederland belangrijke technologie verder te industrialiseren en internationaal te positioneren. De doelstelling van de agenda is om de toepassing van fotonicatechnologieën voor het oplossen van maatschappelijke uitdagingen en het creëren van nieuwe bedrijvigheid te intensiveren en te versnellen.

De maatschappelijke uitdagingen<sup>2</sup> zijn het uitgangspunt voor de Nationale Agenda Fotonica. Hieruit is een selectie van toepassingsgebieden en bijbehorende clusters gemaakt. In consultatie met de clusters zijn meer dan 75 vertegenwoordigers van Nederlandse organisaties in zeven stakeholdersessies bijeengekomen en op basis hiervan zijn marktanalyses en inventarisaties van de clusters gemaakt. Tenslotte is door enkele clusters een opzet voor investeringsinitiatieven gemaakt. In het laatste hoofdstuk worden de belangrijkste randvoorwaarden aangegeven om de agenda tot een succes maken.

<sup>1</sup> Photonics21 (2017) Market research study 2017 – Key figures

<sup>2</sup> Kennis- en Innovatieagenda 2018-2021, Maatschappelijke uitdagingen en Sleuteltechnologieën. Topsectoren, 2017

## 2 / NEDERLANDSE ONTWIKKELINGEN IN INTERNATIONAAL PERSPECTIEF

De fotonicamarkt en -technologie is sterk in ontwikkeling. Dit hoofdstuk brengt vanuit internationaal perspectief de belangrijkste ontwikkelingen voor Nederland in kaart.

in de fotonica volgens de SPIE Industry Update 2018. Het marktaandeel van Nederland in de totale wereldmarkt is beperkt.

### 2.1 POSITIE VAN NEDERLAND IN INTERNATIONALE MARKT

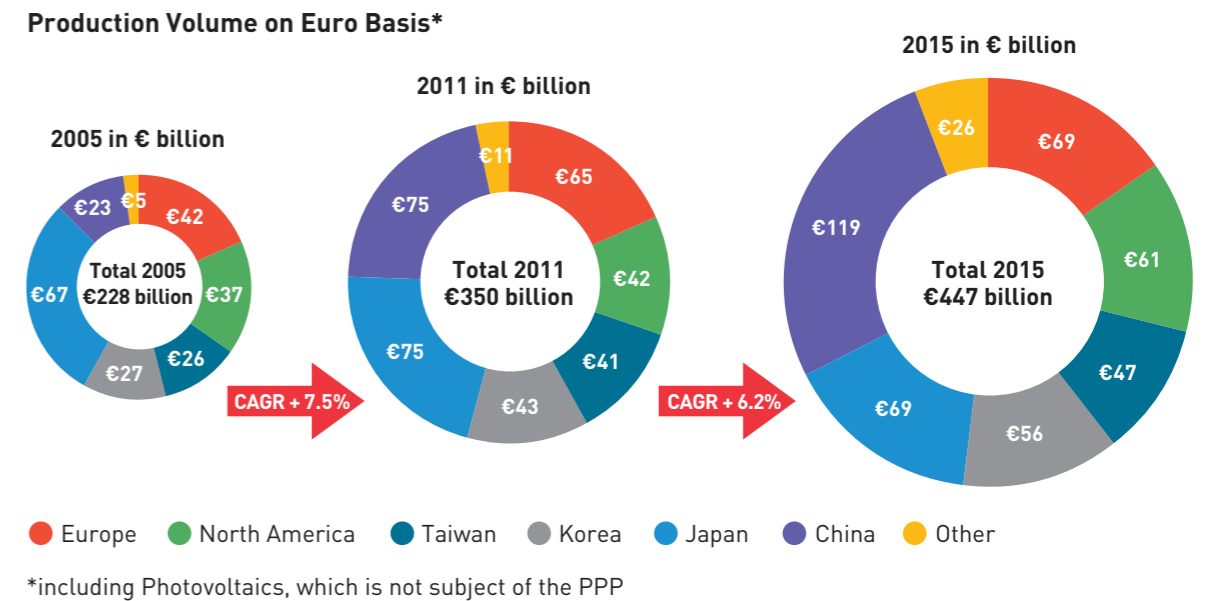
Fotonica is al jarenlang de basis voor leidende bedrijven in Nederland, zoals ASML en Philips. De Nederlandse bedrijven in fotonica staan op de vierde plek van meest concurrerende bedrijven

#### Sterk groeiende markt

Fotonica is een grote en snel groeiende markt. In 2015 was de wereldwijde fotonicamarkt 447 miljard euro waard (Figuur 1). In tien jaar tijd is deze markt bijna verdubbeld. De markt-omvang stijgt naar schatting naar 615 miljard euro in 2020 (6,4% groei per jaar).<sup>3</sup>

FIGUUR 1

Wereldwijde fotonica-industrie: Stevige groei boven het mondiale bbp: van 228 miljard euro omvang in 2005 gegroeid naar 447 miljard euro omvang in 2015<sup>3</sup>

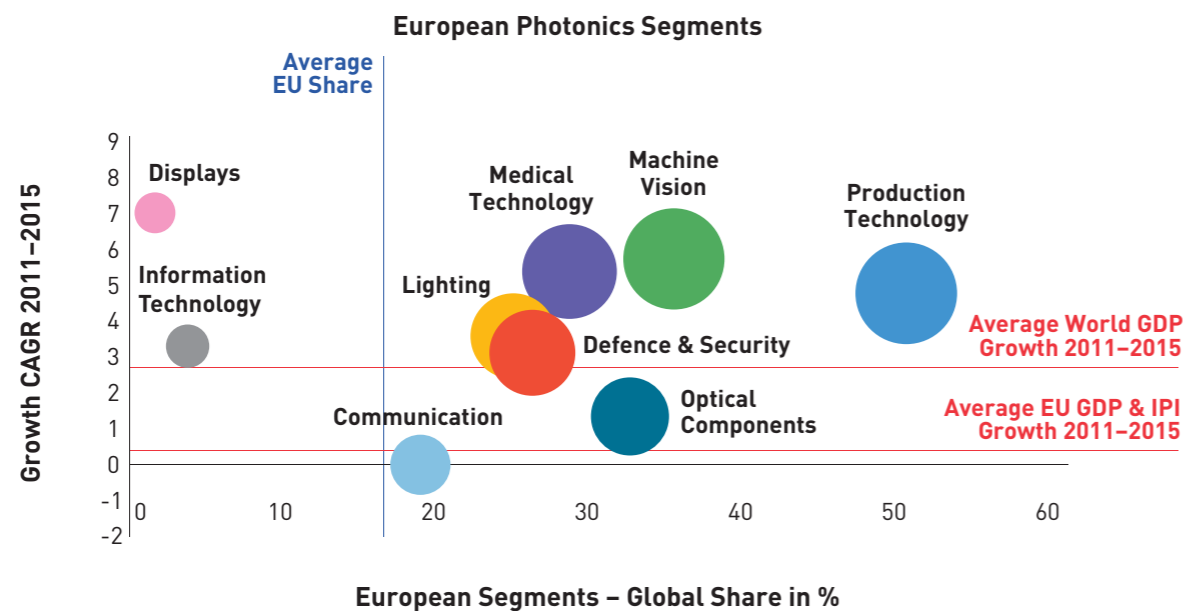


<sup>3</sup> Photonics21 (2017) Market research study 2017 – Key figures

Foto links: Waveguide microPL (TU/e)

FIGUUR 2

## Groei Europese fotonicasegmenten



Bron: Photonics21 (2017) Market research study 2017 – Key figures

China is de grootste speler en heeft meer dan een kwart van de fotonicaproductie in handen. Daarop volgen Europa (15%), Japan (15%) en Korea (13%). Duitsland is de grootste producent in Europa met 41% van de Europese fotonicaproductie. Het VK en Nederland produceren beide 13% van de fotonicaproductie in Europa.

In de periode 2005-2015 was Nederland de snelst groeiende fotonicaregio in Europa met een groei percentage van gemiddeld 7,3% per jaar.<sup>3</sup> Dit komt met name door de omzetgroei van ASML.

### Nederland en Europa groot aandeel in productietechnologie

Bijna alle Europese fotonicasegmenten zijn in de periode 2011-2015 harder gestegen dan het BBP. De sterke groei zien we terug in *Figuur 2*. Deze segmenten blijven de komende jaren sterk groeien.

Nederland is in Europa de belangrijkste speler voor toepassing van fotonica in productietechnologie. Meer dan 50% van de productietechnologie wordt gemaakt in Europa. Europa en Nederland hebben een klein aandeel in de productie van displays en informatietechnologie. Azië, en met name China, heeft een groot deel van de productie van onder andere displays, optische componenten en modules overgenomen van Europa. In de productie van optische componenten staat Nederland bijvoorbeeld slechts op de zevende plek in de wereld.

### Innovatief Nederland

R&D is de belangrijkste bron voor groei van de fotonicasector in Europa en in Nederland. Technologische ontwikkelingen voltrekken zich in een rap tempo en om de concurrentie voor te blijven is innovatie essentieel. Bijna 10% van de omzet in de fotonische industrie wordt geïnvesteerd in R&D, wat neer komt op ongeveer 10 miljard euro per jaar.<sup>4</sup>

## FOTONICA: EEN KEY ENABLING TECHNOLOGY

Fotonica is door de Europese Commissie benoemd als één van de key enabling technologies (KETs). Vanuit Europa wordt flink geïnvesteerd in fotonica. In de periode 2014-2016 is bijna 278 miljoen euro door Europese Commissie geïnvesteerd in PPS projecten op het gebied van fotonica. Bijna de helft van dit budget is voor de industrie. Hiervan is 49 miljoen euro besteed aan pilot lines.

### Photonics21

In november 2013 is de PPS "Photonics21 Association" opgezet als contactpunt voor de Europese Commissie. Met deze PPS heeft de Europese Commissie toegezegd om te investeren in Europa met het doel om Europees industrieel leiderschap en economische groei, hoogopgeleid personeel en nieuwe banen voor jongeren te genereren.<sup>5</sup> Het European Technology Platform Photonics21 heeft meer dan 2500 leden en publiceert onder andere roadmaps<sup>6</sup>, marktstudies en vision papers. Mede als gevolg van de Europese KETs strategie zijn diverse landen bezig met het opzetten van hun eigen fotonica roadmaps.

Nederlandse bedrijven en instituten onderscheiden zich op de internationale markt door het hoge kennisniveau en de ondernemerscultuur. Nederlandse partijen worden gezien als gedreven in R&D en high-end productie.

## 2.2 ECONOMISCHE IMPACT VAN FOTONICA

### Werkgelegenheid en economische groei

Fotonica is een snel groeiende sector en daarmee een belangrijke aanjager voor werkgelegenheid en economische groei in Nederland.

Het gaat naar schatting om 290 bedrijven met een vestiging in Nederland die actief werkzaam zijn in fotonica<sup>7</sup> en in totaal een omzet van

4,2 miljard euro in fotonica.<sup>8</sup> Het grootste deel van deze omzet komt van de grote internationals ASML, Océ-Canon, Signify (Philips Lighting), Philips Healthcare en Prysmian Group (optische glasvezelkabels en systemen voor energie en telecommunicatie). In 2015 waren er ruim 20.000 werknemers werkzaam in de ontwikkeling en productie van fotonische toepassingen.<sup>9</sup>

De toekomst ziet er rooskleurig uit. De komende jaren verwacht meer dan 85 procent van de bedrijven een jaarlijkse groei in banen te realiseren van 5 tot 20 procent of meer.<sup>10</sup>

<sup>4</sup> Jobs and Growth in Europe – Realizing the Potential of Photonics. PPP Impact Report 2017 (2017). Photonics21

<sup>5</sup> Photonics21: <https://www.photonics21.org/about-us/photronics-pps/>

<sup>6</sup> Strategic Roadmap – Towards 2020 – Photonics Driving Economic Growth in Europe

<sup>7</sup> Combinatie databases van EPRISE en PhotonicsNL, EPIC, DOC en Dutch Photonics

<sup>8</sup> Combinatie Photonics21 (2017). PPP Impact Report 2017 & Photonics21 (2017) Market research study 2017 – Key figures

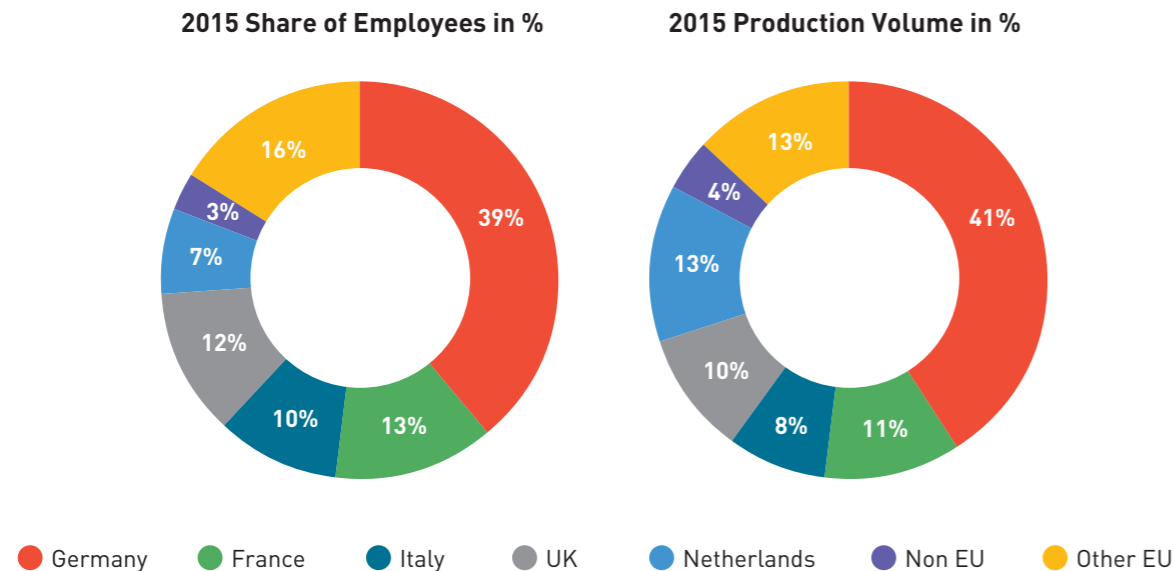
<sup>9</sup> Dit aantal is afgeleid van de Photonics21. De definitie omvat personen die werkzaam zijn in bedrijven die fotonicaproducten produceren. Onderzoekinstellingen zijn hierin niet meegenomen.

<sup>10</sup> PhotonicsNL en ABN-AMRO (2017), Nederlandse industrie ziet het licht met fotonica



FIGUUR 3

Europese fotonica-industrie overzicht per land van werkgelegenheid en productie



Bron: Photonics21 (2017) Market research study 2017 – Key figures

**Regionale impact**

De hoge groeiverwachting zien we terug in de initiatieven op regionaal niveau. Zo werken de provincies Noord-Brabant, Overijssel en Gelderland samen om hun voorsprong op het gebied van geïntegreerde fotonica uit te bouwen. Dit moet op termijn ruim 7.000 nieuwe banen in de regio opleveren.<sup>11</sup>

**Behoud concurrentievermogen Nederlandse economie**

De hefboomwerking van fotonica op de maakindustrie en eindmarkten is aanzienlijk. In het EU-rapport Leverage of Photonics<sup>12</sup> wordt geconcludeerd dat ongeveer 10% van de Europese economie voor het concurrentievermogen afhankelijk is van fotonica, zowel wat betreft markten als banen. Fotonica is een enabling

technologie en maakt innovatieve oplossingen mogelijk in een grote diversiteit aan sectoren. Fotonica is daardoor een drijvende kracht voor het behoud van concurrentievermogen van de gehele Nederlandse economie.

**2.3 RELATIE MET MAATSCHAPPELIJKE UITDAGINGEN**

Fotonica heeft niet alleen een brede impact op de economie, maar ook op de maatschappij. Fotonica maakt nieuwe oplossingen mogelijk voor telecommunicatie, verlichting, energie- en voedselproductie, dataverwerking, sensoriek en monitoring.<sup>13</sup> Sensoren worden toegepast voor ultragevoelige detectie van stoffen, en in extreme omstandigheden. Verder worden autonome energiezuinige sensoren ontwikkeld.

Fotonicatechnologieën leveren een belangrijke bijdrage aan het oplossen van bijna alle maatschappelijke uitdagingen. Enkele voorbeelden zijn:

- **Gezondheid en Zorg:** fonicadiagnostiek via handheld apparaten, sensoren voor minimaal invasieve chirurgie, hoge kwaliteit video verbindingen voor robot-ondersteunde operaties.
- **Energie en CO<sub>2</sub>:** ultra-efficiënte lichtbronnen en zonnecellen ("green photonics"), vermindering van energieverbruik in datacentra door gebruik van geïntegreerde fotonische chips.
- **Veilige samenleving:** sensoren en beeldverwerkingstechnologie voor surveillance.
- **Klimaat en Water:** optische meting van lucht- en waterkwaliteit vanuit satellieten en grondstations.
- **Mobiliteit en transport:** fotonica-gebaseerde sensortechnologie in zelfrijdende auto's voor communicatie, monitoring, waarschuwing en zicht.
- **Landbouw en voedsel:** aardobservatie via satellieten voor preciselandbouw, optimale verlichting in tuinbouw, vision voor fenotypering en groeimonitoring.

**2.4 NIEUWE TECHNOLOGIE-ONTWIKKELINGEN IN NEDERLAND**

Momenteel ontwikkelt zich in snel tempo een breed scala van nieuwe fotonische technologieën die voor Nederland kansen bieden:

- **Krachtigere lichtbronnen en andere golflengten**  
Bijvoorbeeld VCSEL's<sup>14</sup> voor glasvezel telecommunicatie en Extreme UV (EUV) bronnen voor nauwkeuriger meten en maken van chips.
- **Nieuwe vormen voor optische componenten en optiek op een chip**  
Bijvoorbeeld nieuwe vormen van spiegels, lenzen en chips zoals vrije-vormoptica, micro-optica, adaptieve optica en geïntegreerde fotonica.

- **Maaktechnieken voor ultracompacte optische systemen in grote series**  
Bijvoorbeeld verbeterde maaktechnieken zoals 3D-printen, spuitgieten, diamant-draaien en robotpolijsten.
- **Nieuwe synthetische materialen**  
Bijvoorbeeld halfgeleiders, glassoorten, metamaterialen, fotonische kristallen, nanostructuren, kwantumstippen, en nieuwe biologische materialen.
- **Kleinere, energiezuinigere sensoren**  
Fotonische structuren, vaak geïntegreerd in vezels of optische circuits, worden bijvoorbeeld gebruikt voor het meten van verplaatsing, spanning of akoestische golven en voor 3D-beeldvormingssystemen voor autonome voertuigen.
- **Nieuwe technologie met combinatie van fotonica en software**  
Bijvoorbeeld doorontwikkeling en toepassing van Virtual Reality, Augmented Reality en Computational Imaging (CI). In Computational Imaging, ook wel 'lensloze beeldvorming' genoemd, worden computeralgoritmen gebruikt om de prestaties van een beeldvormingssysteem te verbeteren terwijl de lens dezelfde specificaties behoudt.

**2.5 CONCLUSIE: KRACHTIG INZETTEN OP UNIEKE INTERNATIONALE NICHES EN DOORBRAAKINNOVATIES**

Groeiende internationale markten bieden volop kansen voor fotonica. Europa heeft een leidende positie in fotonica, met name in de productietechnologie en industriële beeldbewerking en concurrentie vanuit Azië vormt een serieuze bedreiging. De Europese Commissie zet volop in op fotonica, als één van de Key Enabling Technologies, om de concurrentiepositie van Europa veilig te stellen.

<sup>11</sup> Regioradar (2017). Samenwerking drie provincies voor versterking fotonica-industrie

<sup>12</sup> Photonics21 (2011). Leverage of Photonics

<sup>13</sup> Kennis- en Innovatieagenda 2018-2021, Maatschappelijke uitdagingen en Sleuteltechnologieën. Topsectoren, 2017

<sup>14</sup> VCSEL: Vertical cavity surface emitting laser. Lasers van elk enkele micrometers groot die als lichtbronnen in de telecomindustrie gebruikt worden in datacenters vanwege hun lage energieverbruik. Deze lasers bieden nieuwe perspectieven voor laserbewerking van materialen.

Fotonica is een essentiële sleuteltechnologie in het oplossen van bijna alle maatschappelijke uitdagingen en is ook een belangrijke aanjager voor werkgelegenheid en economische groei in Nederland. Niet alleen in de fotonicasector zelf, maar ook door het mogelijk maken van doorbraakinnovaties in andere sectoren.

De technologieontwikkeling in fotonica gaat razendsnel. Nederland heeft een uitstekende uitgangspositie – met toonaangevende bedrijven en sterke posities in kennis- en technologieontwikkeling, maar in vergelijking met de VS en China zijn de investeringen in productiefaciliteiten beperkt. Om de industriële leiderschap-

positie ook naar de toekomst toe te waarborgen moeten er nieuwe stappen gezet worden, bijvoorbeeld op specifieke niches: technologiegebieden zoals bio-fotonica, geïntegreerde fotonica in Indium Phosphide en TriPleX, fiber sensoren en Computational Imaging. Het is de hoogste tijd voor deze volgende slag.

Hoofdstuk 4 gaat in op de kansrijke toepassingsdomeinen van fotonica voor Nederland en op de uitdagingen die opgepakt moeten worden, maar eerst wordt in hoofdstuk 3 verder ingezoomd op het Nederlandse fotonicalandschap.

## 3 / HET NEDERLANDSE FOTONICALANDSCHAP

**Fotonica heeft impact op de Nederlandse economie en de maatschappij. Dit hoofdstuk geeft meer inzicht in de spelers die dit mogelijk maken.**

Daarnaast hebben NXP, Airbus en Océ-Canon een belangrijke vestiging in Nederland. Verder bestaat het landschap uit een groot aantal kleinere, innovatieve mkb-bedrijven.

Wereldwijd zien we dezelfde verdeling. Volgens SPIE (2018) is meer dan 75% van de producenten van optische componenten een mkb-bedrijf met een omzet van minder 8,5 miljoen euro per jaar.<sup>15</sup>

### 3.1 BEDRIJVEN

Naar schatting 290 bedrijven zijn in Nederland direct of indirect verbonden aan fotonica. De fotonica waardeketen wordt gekenmerkt door grote spelers van Nederlandse bodem: Signify (Philips Lighting) in de lichtindustrie, Philips Medical in de medische fotonica en ASML in de lithografiemachines.

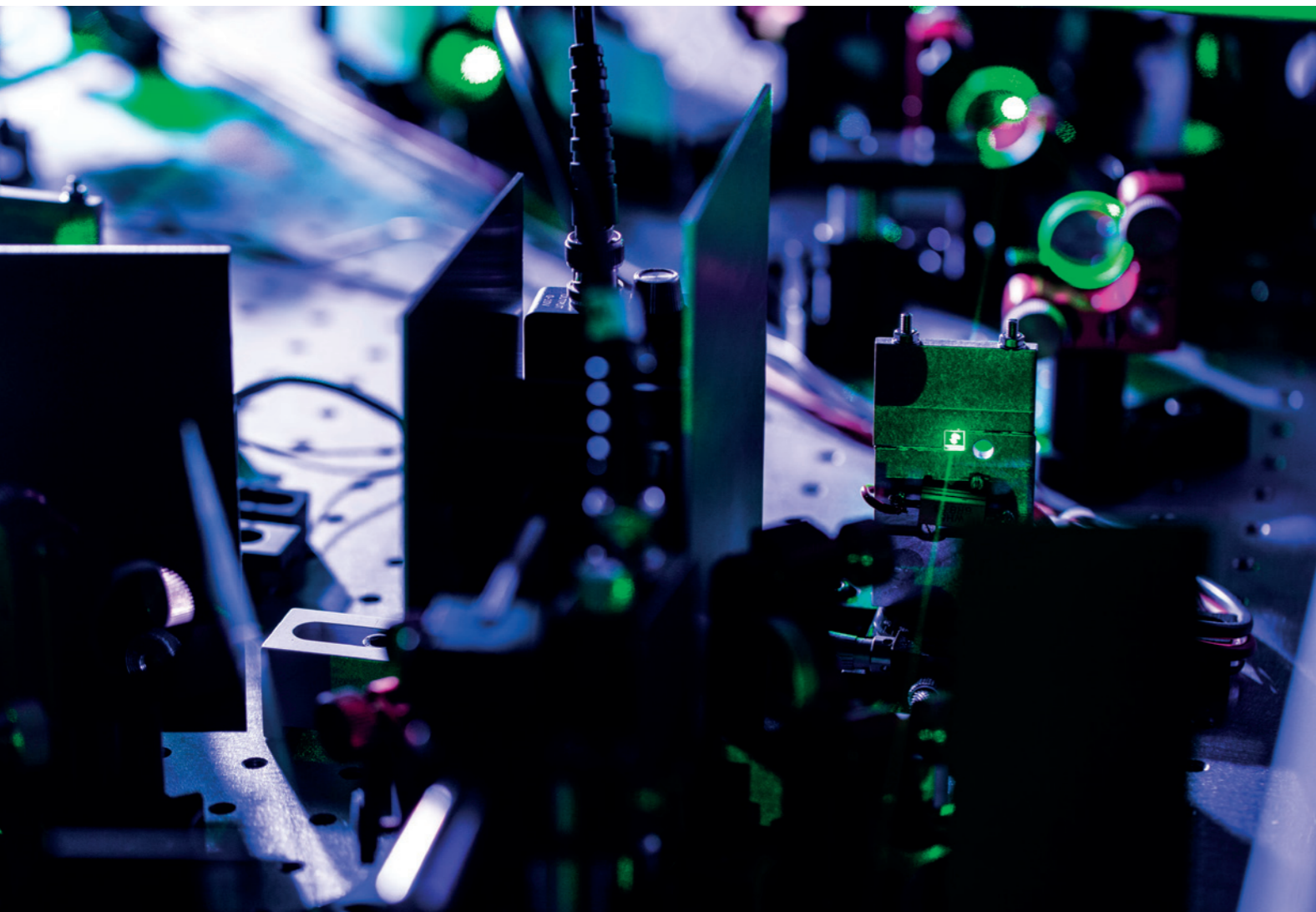
### Voorbeelden van succesvolle Nederlandse producten



Fluorescence Lifetime (FLIM)-camera's worden gebruikt in kankeronderzoek, om onder andere de werkzaamheid van chemotherapie binnen een paar dagen te meten versus meer dan 2 maanden nu. (Lambert Instruments)



Spectroscopie oplossingen worden gebruikt bij zowel het oogsten als bij de mestverdeling. (Avantes)



*EUV opwekking en afbeelding (ARCNL)*

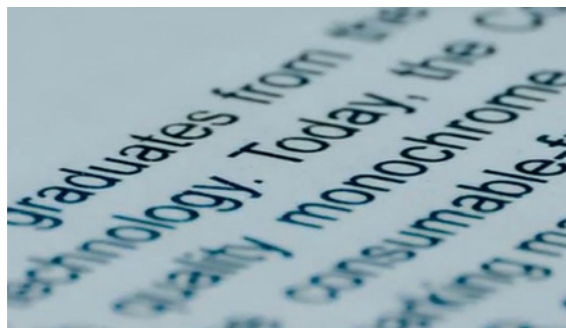
<sup>15</sup> SPIE (2018). SPIE Industry update



Fotonica biedt oplossingen voor het gehele zorgketen van gezond leven en preventie, tot diagnose en behandeling en thuiszorg, zoals digitale pathologie. (Philips)



Augmented Reality platformtechnologie wordt ingezet in de gezondheidszorg: hierdoor hoeft een patiënt niet meer uit huis voor controle, kan het ziekenhuis in de ambulance al meekijken voor de overdracht en kan in de kraamzorg een situatie snel op afstand beoordeeld worden. (GemVision)



Op laser gebaseerde monochrome printtechnologie waarmee op meerdere substraten kan worden gedrukt zonder verbruiksartikelen of coatings. Vooral voor het afdrukken op papieren voorwerpen vormt de inktloze technologie een revolutionaire nieuwe stap. (Tocano)

### 3.2 ONDERZOEKINSTITUTEN

De Nederlandse onderzoeksinstituten zijn internationaal onderscheidend in fotonica. De kwaliteit van wetenschappelijke publicaties op het gebied van fotonica ligt ruim boven het wereldgemiddelde.<sup>16</sup> Nederlandse onderzoeksinstituten zijn over het gehele spectrum van fotonicatechnologieën actief: van imaging tot optische communicatie. Aan de universitaire kant zijn actief UT (MESA+), TU/e (Institute for Photonic Integration), Leiden, Utrecht, TU Delft, Radboud, UvA, VU, RUG, WUR en meerdere UMC's. Alle vijf T02-instituten zijn actief in ontwikkeling van op fotonica gebaseerde systemen.

NWO zet zich in voor een sterk wetenschapsstelsel in Nederland. Via NWO zijn de fotonica-activiteiten geclusterd rond de domeinen TTW (Memphis II programma) en ENW (fundamentele programma's in de fysica, chemie, astronomie en levenswetenschappen) en de NWO-instituten. Voorbeelden van programma's in het domein ENW zijn LINX, Physics for Nano Lithography (PNL) en Nanophotonics for solid-state lighting (NSL). De NWO beheert zes onderzoeksinstituten voor een duurzame coördinatie van wetenschapsvelden in fotonica: ASTRON, SRON, AMOLF, Nikhef, Differ en ARCNL.

<sup>16</sup> Elsevier (2018). Quantitative Analysis of Dutch Research and Innovation in Key Technologies (nog te publiceren)

TABEL 1

### T02-instituten

T02-instituut	Toepassing van fotonica
NLR	Optische visualisatie van stroming rond een voorwerp, fiber gebaseerde gyroscopen, lasermateriaal interactie
DLO	Spectroscopie voor ziekteherkenning aan planten en gewassen, meten van nutriënten in voeding
MARIN	Optische systemen voor meten aan scheepsdynamica
Deltares	Fibersensoren en spectrometers om waterkwaliteit te meten
TNO	Optische systemen zoals klimaatsatellieten, astronomie, sensoren voor de semicon-industrie, vision-systemen voor defensie, optische systemen voor de olie- en gase sector en voor de maakindustrie, en zonnecellen

#### Samenwerken voor wetenschappelijk, maatschappelijk en economisch impact

De samenwerking tussen de verschillende kennisinstellingen ontstaat vanuit de inhoud en expertises en levert zo een bijdrage aan de wetenschappelijke, maatschappelijke en economische uitdagingen van deze tijd. Daarnaast is samenwerking tussen de kennisinstellingen en industrie essentieel om goed opgeleide ingenieurs en technologisch ontwerpers af te leveren en internationaal toonaangevend en maatschappelijk relevant onderzoek te verrichten.

Ben Feringa (RUG) won in 2016 de Nobelprijs Chemie met een "Moleculaire Motor", een door licht voortgedreven roterende molecuul.

### 3.3 NETWERKEN EN SAMENWERKINGS-VERBANDEN

Samenwerking tussen kennisinstellingen, bedrijven en het publieke domein is een belangrijke factor voor een sterk concurrentievermogen. Het merendeel van de fonicabedrijven en instituten is verbonden aan één van de regionale, nationale en Europese netwerken.

De drie meest relevante fotonicanetwerken in Nederland zijn:

#### PhotonicsNL

PhotonicsNL is het Nederlandse portaal voor optica- en fotonica-experts en is een unieke gemeenschap voor fotonica in Nederland.

PhotonicsNL stimuleert innovatie binnen het fonicadomein door het mogelijk maken van samenwerkingen en kruisbestuivingen tussen bedrijven en verschillende sectoren. Dit benadrukt de waarde van fotonica voor de economie en versterkt de kennis van fotonica op alle onderwijsniveaus.

#### Dutch Optics Centre

Dutch Optics Centre (DOC) is een consortium van kennisinstellingen met nauwe betrokkenheid van meer dan 150 Nederlandse hightechbedrijven. Op initiatief van TNO en TU Delft wordt door gemeenschappelijke R&D, gedeelde hightech faciliteiten en infrastructuur, ontwikkeling van prototypes en het vormen van product consortia een sterk Nederlands ecosysteem in de optomechanica gevormd. DOC richt zich op applicaties voor afbeelding, spectroscopie en metrologie.

TABEL 2

Samenwerkingsverbanden in Nederland

Samenwerkingsverband	Samenwerking tussen	Onderzoeksgebieden
ARCNL	VU, UvA, NWO, ASML	EUV-bron ontwikkeling, optische metrologie, lasersystemen, spectroscopie, computational imaging en optica in het algemeen
Holst Centre	TNO, IMEC	Flexibele (medische) imaging apparatuur voor grote oppervlakken, vrije vorm verlichting, signalering en sensoren, virtual reality displays
Solliance	ECN, TNO, IMEC, Holst centre	Onderzoek naar zonnecelproductietechnologie
MESA+	UT	Nanotechnology
IEEE Photonic Society Benelux		Lasers, optische apparatuur, optische fibers, associated lightwave technology
LaserLaB	VU, UvA, Amsterdam UMC	Interactie van licht met materie, van fundamenteel onderzoek aan atomen en moleculen tot levende materie
AMOLF		Nanofotonica, biofysica

Door het stimuleren en faciliteren van netwerk-mogelijkheden tussen wetenschappers van universiteiten, kennisinstituten en industrie experts wordt de ontwikkeling van innovatieve technologieën versneld.

**PhotonDelta**

PhotonDelta is opgezet vanuit Eindhoven in samenwerking met Twente en Delft en brengt de industrie en universiteiten samen om geïntegreerde fotonica in nieuwe en opkomende markten te bevorderen. Het doel is om de fotonische chip technologie, van ontwerp tot packaging en testing, te introduceren in een industrieel ecosysteem van bedrijven dat in staat is om markten te bedienen over het hele spectrum van maatschappelijke vraagstukken.

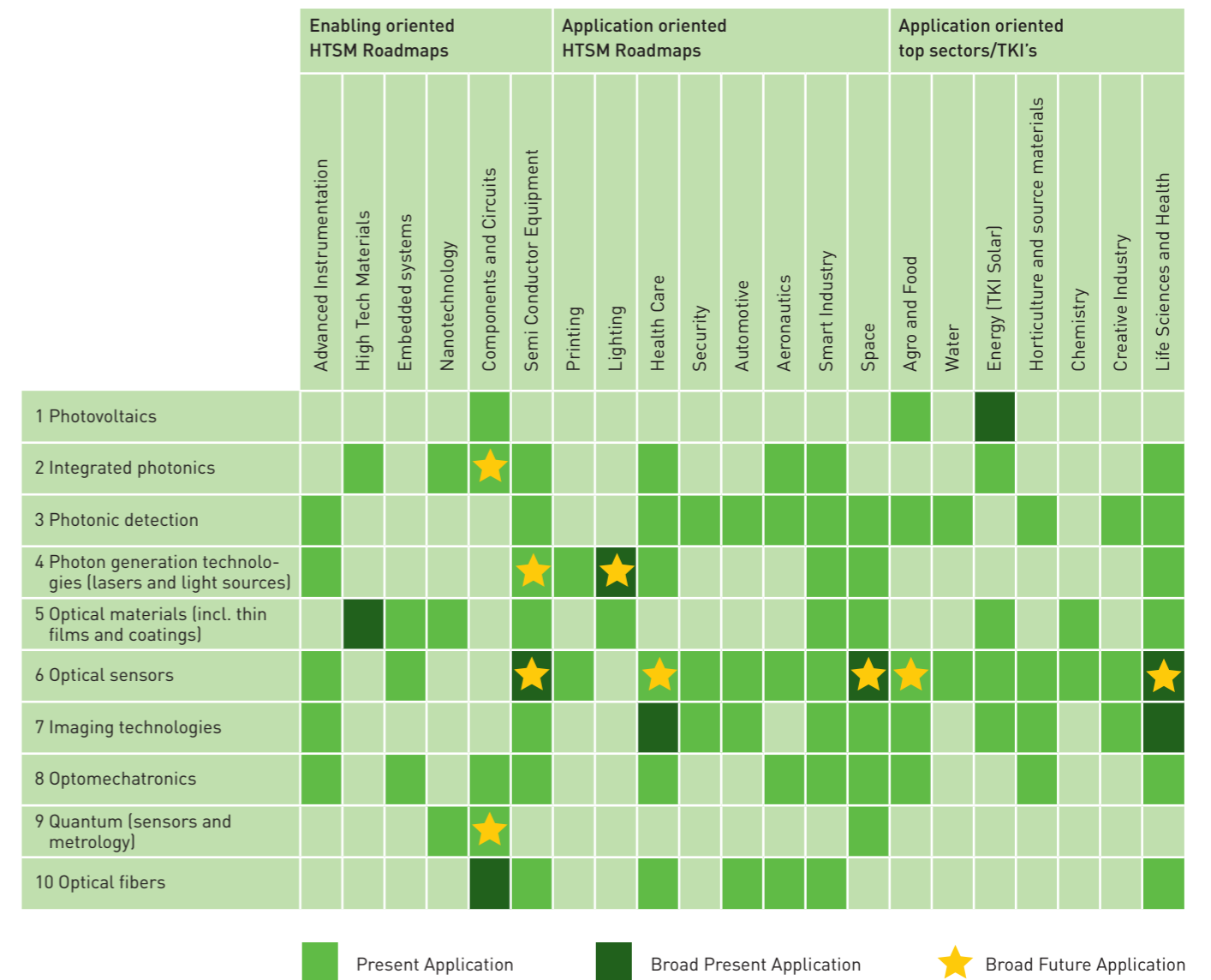
Daarnaast zet PhotonDelta Nederland als hot-spot voor geïntegreerde fotonica op de Europese kaart te zetten met een Digital Innovation Hub.

Recentelijk hebben deze bovengenoemde netwerken de handen ineengeslagen. Zij werken samen bij activiteiten rond promotie en acquisitie voor de Nederlandse fotonische industrie, bijvoorbeeld tijdens conferenties en handelsmissies, bij afstemming van onderzoeksrichtingen en bij beleid in overleg met de overheid. Ook het investeringsprogramma voor de PPS PhotonDelta is in nauwe samenwerking tussen partijen tot stand gekomen.

Daarnaast is er in Nederland een aantal andere samenwerkingsverbanden actief op het gebied van fotonica (Tabel 2).

TABEL 3

Top 10 fotonica cross-overs met Nederlandse topsectoren en roadmaps



Bron: HTSM Photonics Roadmap 2018

**3.4 KENNISAGENDA'S, TOPSECTOREN EN ROADMAPS**

Fotonica heeft impact op de meeste relevante Nederlandse kennisagenda's, zoals de Kennis- en Innovatieagenda (KIA), de Topsectoren roadmaps en de Nationale Wetenschapsagenda (NWA). Deze agenda's verbinden de beleidsagenda's, het bedrijfsleven en de wetenschap.

Fotonica vindt aansluiting bij veel van de 25 NWA-routes genoemd in de NWA agenda. Fotonica levert bijvoorbeeld een significante bijdrage aan de NWA-routes 'Duurzame productie van gezond en veilig voedsel', 'Gezondheidszorgonderzoek, preventie en behandeling', 'Bouwstenen van materie en fundamentele van ruimte en tijd' en 'Kwaliteit van de omgeving'.

De Nationale Agenda Fotonica bouwt specifiek voort op de HTSM Photonics Roadmap 2018.<sup>17</sup> In deze roadmap staat een uitwerking van de toepassing van fotonica voor negen maatschappelijke uitdagingen met voorbeelden uit het bedrijfsleven en de wetenschap. Ook wordt de relatie met andere roadmaps en topsectoren gelegd (Tabel 3). De Photonics Roadmap bevat nog geen concreet plan voor gerichte versterking van het Nederlandse fotonica ecosysteem of gecoördineerde versnelling van innovatie. Deze Nationale Agenda Fotonica geeft daar invulling aan.

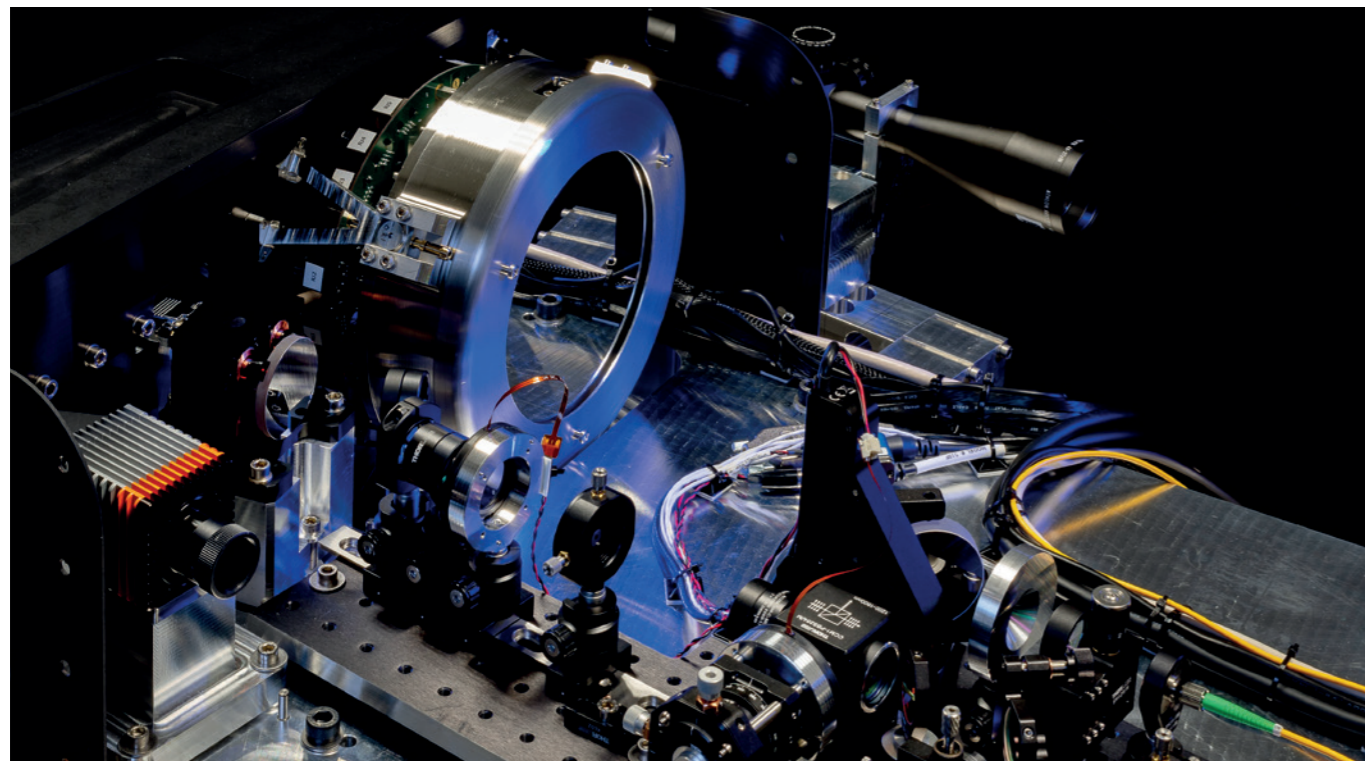
### 3.5 CONCLUSIE

Fotonica is een breed vakgebied, waar in Nederland veel in gebeurt. Naar schatting 290 bedrijven en nog eens dertig onderzoeksgroepen en netwerken in Nederland zijn ver-

bonden aan fotonica en dragen direct en indirect bij aan economische en maatschappelijke impact.

Het merendeel van deze organisaties is verbonden aan één van de vele initiatieven, netwerken, roadmaps en kennisagenda's.

Voor een succesvolle positionering in de Europese en wereldwijde markt is het noodzakelijk voor Nederland om zich te presenteren als één coherente fotonicaregio. Dit vraagt om één agenda en een kapstok voor de fotonica-initiatieven in Nederland, waarin de kracht van de Nederlandse fotonica gekoppeld aan de toepassingsdomeinen tot uiting komt. Deze agenda vormt de opmaat tot een aantal breed gedragen initiatieven met concrete impact voor bedrijven en samenleving.



Demonstratie-opstelling waarmee de haalbaarheid van datacommunicatie met hoge capaciteit tussen grondstation en satelliet aangetoond gaat worden (TNO)

## 4 / KANSRIJKE CLUSTERS

**Nederland werkt succesvol aan fotonische oplossingen en de groei van de internationale markt biedt veel kansen voor de Nederlandse bedrijven. Om deze kansen te benutten is meer nodig dan enkele investeringen in individuele ontwikkelprojecten.**

Hier is behoefte aan verregaande samenwerking in grotere clusters van organisaties, met bredere investering in deze clusters. Deze schaalvergroting is nodig om Nederland als één coherente fotonische regio op de kaart te zetten, om op wereldniveau de concurrentie succesvol aan te gaan, en uiteindelijk een meer dan gemiddelde groei in het Nederlandse fotonische ecosysteem te realiseren.

### Zes kansrijke clusters

Voor deze agenda hebben wij een aantal kansrijke clusters geïdentificeerd die tevens belangrijke toepassingsdomeinen zijn voor Nederland.

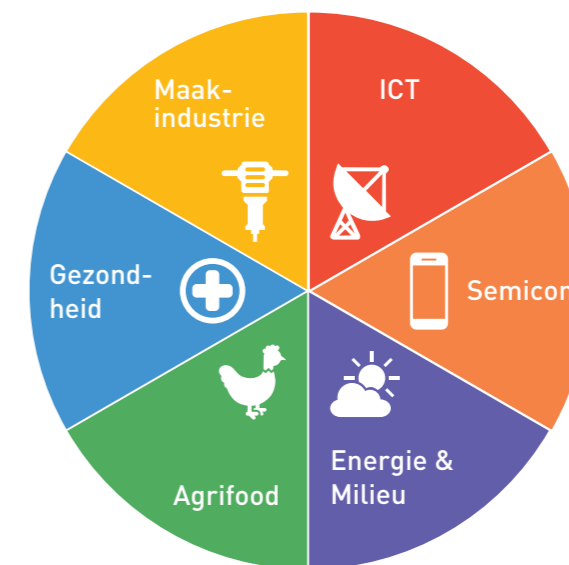
Rond deze toepassingsdomeinen zijn clusters van bedrijven en kennisinstituten geïdentificeerd. Deze kunnen worden uitgebouwd tot een langdurige samenwerking van fotonische organisaties gericht op één of meerdere toepassingsdomeinen. Een zestal kansrijke toepassingsdomeinen is geïdentificeerd: Gezondheid, Maakindustrie, ICT<sup>18</sup>, Semicon, Energie & Milieu en Agrifood (Figuur 4).

### Wat is een cluster?

Een cluster is gericht op een toepassingsdomein en omvat de keten en een groot aantal fotonische technologieën (Figuur 5). Een cluster is internationaal onderscheidend door excellente kennisinstituten en bedrijven en door een unieke technologiepositie. Het cluster heeft een substantiële marktomvang (omzet, aantal bedrijven).

FIGUUR 4

**Zes kansrijke clusters: Gezondheid, Maakindustrie, ICT, Semicon, Energie & Milieu en Agrifood**

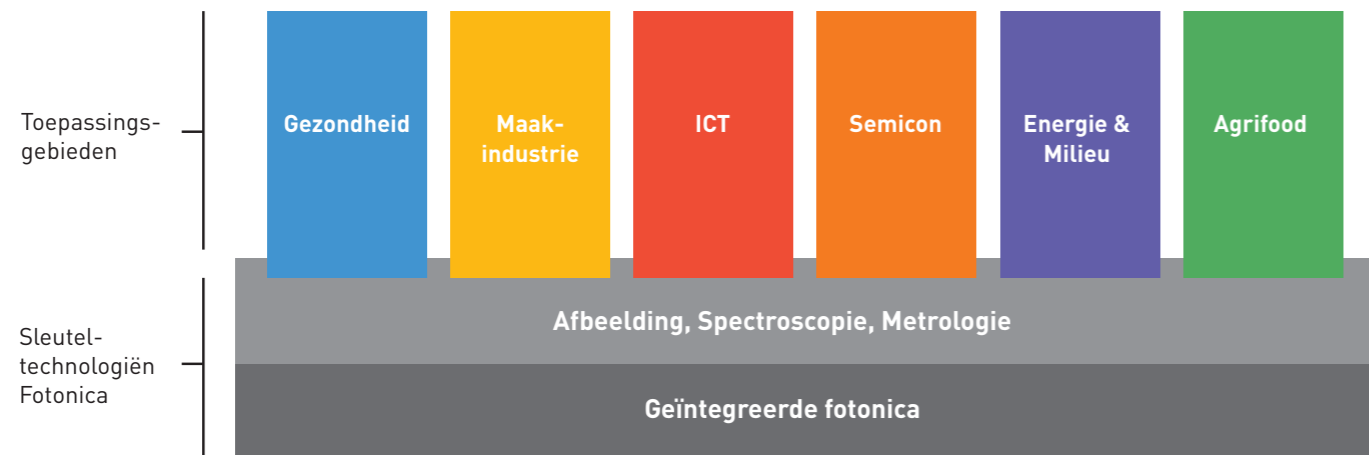


<sup>17</sup> HTSM Photonics Roadmap, update 2018; <https://www.hollandhightech.nl/nationaal/innovatie/roadmaps/photonics>

<sup>18</sup> Bij ICT gaat het in dit verband vooral om het gebruiksdomein digitale datacommunicatie

FIGUUR 5

**Samenhang toepassingsgebieden en sleuteltechnologieën**



Een cluster is gericht op één of meerdere toepassingsdomeinen met het doel om:

- samenwerking te versterken tussen bedrijven in de toeleveranciersketen;
- kennis te valoriseren door samenwerking tussen onderzoekinstellingen en bedrijven;
- bij te dragen aan maatschappelijke uitdagingen;
- de internationale concurrentiepositie van Nederlandse fonicabedrijven en -instituten te versterken;

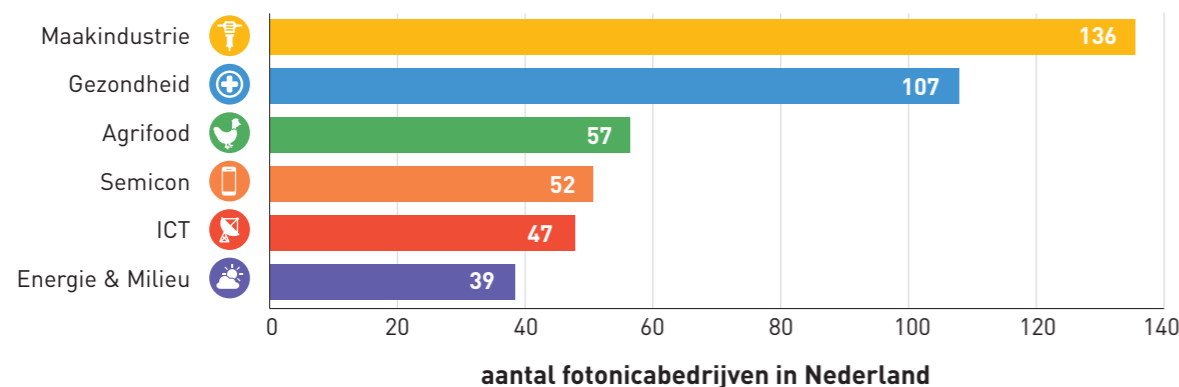
- fotonica-onderwijs (op mbo, hbo en wo niveau) te versterken en af te stemmen op de behoeften van de markt;
- samenwerking tussen sleuteltechnologieën te bevorderen.

**Omvang van de clusters**

Van de naar schatting 290 fonicabedrijven in Nederland is ongeveer de helft actief in het ontwikkelen of produceren van fotonica-oplossingen voor twee of meer clusters. Een bedrijf

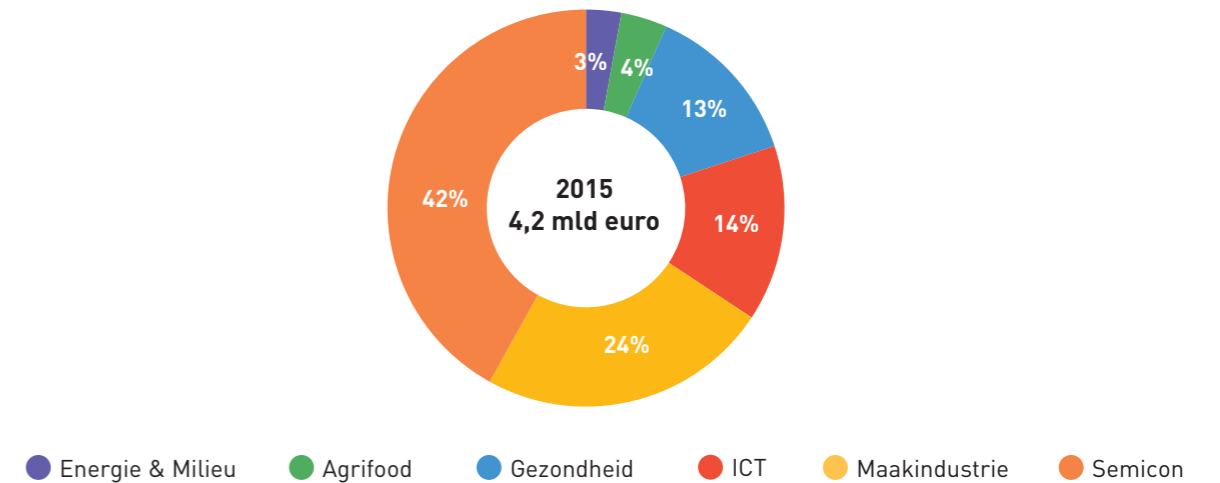
FIGUUR 6

**Aantal fonicabedrijven in Nederland per cluster**



FIGUUR 7

**Marktomzet clusters in Nederland. Totale marktomzet was 4,2 miljard euro in 2015.<sup>19</sup>**



levert bijvoorbeeld sensoren voor de maakindustrie en voor de agrifoodsector. *Figuur 6* geeft een overzicht van het aantal bedrijven actief in elk cluster.

Bijna de helft van de spelers is actief in het cluster Maakindustrie. Dit is een breed cluster. Het cluster omvat bedrijven die displays, verlichting, productiemachines en meetinstrumenten voor het productieproces (bijvoorbeeld sensoren) maken. De marktomvang voor fotonica voor de maakindustrie wordt geschat op 24% van de totale marktomvang fotonica. De grote spelers Signify (Philips Lighting), Océ-Canon en Omron Europe zorgen voor een hoge omzet in dit cluster.

Daarnaast zijn 107 bedrijven betrokken bij fotonica voor het cluster Gezondheid (bijvoorbeeld medische instrumenten, sensoren of behandelmethodes). Qua omzet is dit een relatief groot cluster door onder andere Philips Medical.

In het cluster Agrifood zijn 57 bedrijven actief. Het marktaandeel is echter beperkt: Nederland heeft geen grote spelers die zijn gespecialiseerd in fotonica voor agrifood.

Er zijn respectievelijk 52 en 47 bedrijven actief in het cluster Semicon en ICT. Het cluster Semicon wordt gedomineerd door ASML dat verantwoordelijk is voor 37% van de totale fotonica industrie in Nederland.<sup>19</sup> Veel toeleveranciers van ASML vallen onder het cluster Maakindustrie.

De glasvezelbedrijven Prysmian Group (Draka) en Eurofiber zorgen voor een hoge omzet in het cluster ICT. Het cluster Energie & Milieu is relatief klein in aantal spelers (39) en in omzet.

In samenwerking met bedrijven en onderzoeksinstituten zijn voor elk cluster de maatschappelijke uitdagingen, de waardeketen en de kansen voor Nederland in kaart gebracht.

<sup>19</sup> Nota bene: Optech Consulting heeft voor Photonics21 de fonicamarkt in Nederland ingeschat op 8,7 miljard euro, inclusief de volledige omzet van ASML. Niet alle activiteiten van ASML zijn gericht op fotonica. De cijfers in figuur 6 zijn hiervoor gecorrigeerd. Hierbij is 25% van de omzet van ASML meegenomen als zijnde fotonica-omzet.

## 4.1 GEZONDHEID

### Betere zorg tegen lagere kosten

De behoefte aan meer en betere medische zorg neemt toe onder invloed van de vergrijzing van de maatschappij en van nieuwe technologische mogelijkheden. Fotonica speelt al een cruciale rol bij de diagnose en behandeling van vrijwel elke belangrijke ziekte – van optische diagnostiek tot endoscopie en minimaal invasieve interventie. Deze en andere op fotonica gebaseerde technologieën stellen ons in staat om aandoeningen te behandelen die twee decennia geleden onbehandelbaar zouden zijn of waarbij de behandeling slechts een kleine kans op succes had.

### Waardeketen

De combinatie van toonaangevende universitaire medische centra (UMC's) en een sterke wetenschappelijke positie op het gebied van biomedische fotonica geeft Nederland een sterke uitgangspositie. Onderzoeksgroepen van de universitaire medische centra staan wereldwijd goed bekend en worden veel geciteerd. Universiteiten zoals TU Delft, Universiteit Twente en TU Eindhoven hebben erkende onderzoekers op het gebied van de medische fotonica.

Philips Medical Systems is een sterke marktleider met een georganiseerde hightech toeleverketen. Ook meerdere mkb-bedrijven brengen fotonische instrumenten op de markt, denk hierbij bijvoorbeeld aan Avantes dat wereldwijd spectrometers voor de medische sector levert.

Nederland heeft daarnaast goed georganiseerde collectebusfondsen met een gerichte focus op specifieke ziekten en aandoeningen zoals het KWF, de hartstichting, het Longfonds en de Nierstichting.

### Groeimogelijkheden voor het cluster Gezondheid

Het cluster Gezondheid heeft groeimogelijkheden in twee thema's:

#### A) Preventie, screening en vroege detectie van ziekten

In de toekomst zal steeds meer nadruk komen te liggen op gezond blijven, preventie en vroegdiagnostiek om zo dure behandelingen te voorkomen en mensen optimaal te laten participeren in de maatschappij. Dit is bijvoorbeeld te realiseren met op fotonica gebaseerde "wearables" die continu gezondheidsparameters meten en de gebruiker feedback geven over hun gezondheidstoestand en advies geven over te nemen maatregelen om hun gezondheid te bevorderen.

De vraag naar niet-medische applicaties en wearables die allerlei lichaamsfuncties meten groeit hard wereldwijd; dergelijke oplossingen kunnen als vliegwiel dienen voor de ontwikkeling van medische wearables.

Opgedane kennis in miniaturisatie, optisch design en integratie van fotonica kan daarnaast leiden tot goedkopere, nauwkeurige en snellere diagnostische methoden die in de eerstelijns gezondheidszorg toegepast kunnen worden.

Daarnaast kunnen fotonische technieken ingezet worden in ziekenhuizen voor nauwkeurigere en goedkopere diagnostiek op basis van de unieke "optische vingerafdruk" van ziekteprocessen. Een grote kans voor de Nederlandse fotonicabedrijven is om fotonische componenten of producten te leveren aan de industrie en eindgebruikers van deze wearables en diagnostische apparatuur.

#### B) Betere diagnose en monitoring voor geïndividualiseerde behandeling

Niet iedereen reageert hetzelfde op een behandeling. Zo werken bijvoorbeeld veel medicijnen maar bij een deel van de patiënten. Wanneer dit goed en vroegtijdig wordt gemeten, kunnen kosten worden bespaard door het tijdig overstappen naar een andere therapie. Fotonische technieken hebben de potentie om het effect van interventies sneller en gevoeliger te kunnen meten. Daarnaast kunnen met image-guided surgery de tumorsnijranden veel beter zichtbaar gemaakt worden voor de chirurg tijdens de operatie, waardoor de tumor beter weggesneden kan worden met betere uitkomsten en lagere kosten tot gevolg. Fotonische instrumenten die minimaal invasieve chirurgische procedures mogelijk maken zorgen ervoor dat patiënten eerder hersteld zijn en dus sneller uit het ziekenhuis naar huis kunnen.

Patiënten thuis monitoren en verzorgen geeft patiënten meer leefcomfort en verlaagt de ziektekosten. Een grote kans voor de Nederlandse bedrijven is het ontwikkelen en leveren van apparatuur voor betere diagnose, minimaal invasieve chirurgie en therapie monitoring.

De overheid kan dit soort applicaties versnellen door de markt toegankelijk te maken voor mkb-bedrijven bijvoorbeeld door financieringsmogelijkheden te bieden ter overbrugging van de Valley of Death. De markt is hierbij niet alleen Nederland maar ook buitenland. Promotie van Nederland als sterk medisch fotonicacluster is hierbij noodzakelijk.

### Randvoorwaarden

Mede door de wijze van financiering door verzekeraars en het lange validatie- en certificeringstraject van medische innovaties is het lastig om voldoende financiering voor fotonische initiatieven te bewerkstelligen. En dit terwijl er een grote behoefte bestaat aan nauwe samenwerking tussen alle belanghebbenden, zoals patiënten, medisch specialisten, wetenschappers en bedrijven, om snel nieuwe instrumenten en toepassingen op de markt te krijgen.

Deze uitdagingen kunnen opgepakt worden vanuit de samenwerking binnen op te richten medisch-fotonische technologiecentra. Deze zullen bijdragen aan verkorting van de technologische ontwikkeltijd door alle belanghebbenden bij elkaar te brengen. In een dergelijk centrum werken en ontmoeten wetenschappers, bedrijven en patiënten elkaar om de nieuwste fotonische apparatuur en methoden voor screening, diagnose, en (minimaal invasieve) chirurgie te testen en te valideren om zo de tijd naar de markt te verkorten. Investerings in één of meerdere centra versterkt deze voor Nederland belangrijke innovaties.



App gestuurde lichtbril met geïntegreerd LED-licht helpt bij toepassingen in de klassieke lichttherapie, bij werk op onregelmatige tijden en nachtdienst en bijvoorbeeld bij het verminderen van de gevolgen van jetlag. De innovatie op lichttherapie gebied is ontwikkeld door Propeaq. Deze brillen zijn onder meer in gebruik bij Olympische sporters uit zeven landen, in de zorg, de luchtvaart en de dienstensector.



Het bedrijf EFI heeft de OptiGrip op markt gebracht; OptiGrip is een tang voor minimale invasieve chirurgie die door middel van fibersensoren haptische feedback geeft aan de chirurg. Daardoor worden de tere weefsels van de ingewanden minder beschadigd en kan de chirurg nauwkeuriger en efficiënter opereren.

## 4.2 MAAKINDUSTRIE

### Digitalisering van de maakindustrie

Digitalisering van de maakindustrie is één van de centrale thema's voor Nederland. Deze transformatie is nodig voor het verhogen van de productiviteit, het opvangen van groeiende schaarste aan gekwalificeerd personeel, het bevorderen van toekomstige economische groei en het verduurzamen van de industrie. Door slimmere productieprocessen kan er zuiniger met grondstoffen omgegaan worden. De transformatie naar een digitale industrie vraagt om nieuwe productie- en communicatietechnologieën waarbij fotonica een grote rol speelt.

Het cluster Maakindustrie is gericht op de toepassing van fotonica in het maakproces van producten zoals elektronische apparaten, displays, machines en auto's. De maakindustrie kan opgesplitst worden in maken (productiemachines en productie van fotonische systemen) en meten (monitoren). Digitalisering integreert het maken met het meten.

### Waardeketen

Nederland telt 136 fotonische bedrijven en (kennis- en onderwijs-) instituten die actief zijn in de maakindustrie. Spelers in dit clusters zijn actief in meerdere markten en toepassingsgebieden. De technische universiteiten in Nederland zijn voorlopers in onderzoek naar onder andere laser manufacturing en 3D-printen. De bedrijven in dit cluster zitten aan het einde van de fotonica waardeketen: de klanten zijn vaak niet actief in fotonica.

De industrie bestaat uit producenten van optische sensoren en spectrometers, en van machines, zoals lasmachines (bijvoorbeeld AWL techniek) en 3D-printers. In feite vallen de producenten van apparatuur van de semicon-industrie (onder andere ASML) ook onder maakindustrie. Vanwege de grootte van de semicon-industrie en de verschillen in toegepaste technologieën wordt deze sector echter als een apart cluster behandeld.

Met Prysmian Draka is Nederland een wereldspeler op het gebied van het maken van glasvezels, die ook veel in datacenters en kantoren gebruikt worden. Ook vindt in Nederland door Philips Photonics grootschalige productie plaats van VCSEL's. VCSEL's zijn compacte lichtbronnen die onontbeerlijk zijn voor de interconnectiviteit in de explosief groeiende wereld van de datacenters.

Grote producenten van optische componenten ontbreken in de Nederlandse waardeketen. De optische componenten (lenzen, lasermodulen, spiegels) in de machines worden geïmporteerd uit het buitenland. In Nederland worden de machines samengesteld en daarna wordt het merendeel geëxporteerd.

### Groeimogelijkheden voor het cluster Maakindustrie

#### A) "Smart Industry" toepassingen

In samenhang met de digitalisering in de industrie stijgt de vraag naar "Smart Industry" toepassingen. Nederland is onderscheidend in het high-end segment en in de R&D. Groot-schalige productie van bijvoorbeeld sensoren en machines vindt elders plaats tegen een goedkoper uurtarief. Daarentegen biedt flexibele, kleinschalige productie (Industry 4.0) kansen voor hoogwaardige, flexibele fotonica-oplossingen die in Nederland ontwikkeld en geproduceerd kunnen worden. Integratie van fotonica-oplossingen binnen de maakindustrie vraagt om innovatieve ideeën die geproduceerd kunnen worden tegen concurrerende tarieven. Kennis opgedaan bij de hoogwaardige chipontwikkeling binnen de semicon-industrie kan gebruikt worden binnen de gehele maakindustrie. Belangrijk is dat voldoende productiecapaciteit aanwezig is om deze technologieën op voldoende schaal en tegen concurrerende tarieven te produceren.

#### B) Productiemachines voor Photonic IC's

Voor Nederland liggen er kansen in het ontwikkelen van nieuwe optomechatronische apparatuur voor productie, packaging en alignment van photonic devices en microfluidic chips.

Deze worden thans geproduceerd met oude lithografische apparatuur die geschikt was voor de semicon-industrie. De fotonische en microfluidic chipindustrie vraagt echter om specifieke kosteneffectieve oplossingen voor verdere opschaling van de productie. Daarnaast is dergelijke apparatuur een schaars goed geworden in de semicon-industrie en dit is een knelpunt waarop ingespeeld kan worden. In Nederland is een internationaal sterke optomechatronische keten aanwezig die deze uitdaging kan oppakken.

#### C) Versterking van de Nederlandse maakindustrie voor optische componenten

Nederland heeft een sterke maakindustrie voor hoogwaardige optische componenten. Deze fotonische maakindustrie levert aan Nederlandse systeembouwers die deze componenten integreren tot nog hoogwaardigere (sub)systemen, en is succesvol met de export

van deze componenten omdat ze van unieke kwaliteit zijn. Een schaalvergroting van deze maakindustrie bouwt onze leidende positie uit (onder andere in glasvezelproductie), en versterkt zowel de interne markt alsook de export.

Het gaat hier onder andere om:

- hoogwaardige optische vervaardiging van spiegels, lenzen, glasvezel etc. (Prysmian Draka, VDL, Sumipro, Diamond Kimberlit, TNO, Te Lintelo Systems, Physix);
- ontwerp, assemblage en productie van lichtbronnen (Philips Lighting, ISTEQ, 4PICO);
- ontwikkeling en productie van bijzondere (industriële) camera's (Adimec, Grassvalley, Amply).



Seriematig 3D-printen met PrintValley (AMSYSTEMS Centre)



### Randvoorwaarden

Een goede verbinding tussen het onderwijs, de kennisinstituten en het bedrijfsleven is essentieel voor het innovatief vermogen. In het cluster Maakindustrie zijn gekwalificeerde (laser-) vakmensen en mechanische engineers met fotoniekennis hard nodig. Dit geldt voor alle onderwijsniveaus. Ook kan de kennisuitwisseling tussen kennisinstituten en Nederlandse bedrijven in de maakindustrie nog sterk verbeterd worden. Daarnaast zijn er proeflocaties nodig voor versnelling van het ontwikkelproces. Het delen van faciliteiten en kennis staat hierbij centraal.

De Nationale Agenda Fotonica moet de aansluiting van fotonica bij bestaande initiatieven verbeteren. Initiatieven zoals Platform Techniek in regio Noordwest-Veluwe moedigen studenten aan om voor technische opleidingen te kiezen. In het Smart Industry programma zijn fieldlabs tot stand gekomen waarbij het ontwikkelen van vaardigheden en het versterken van publiek-private samenwerking centraal staat. Voor fotonische bedrijven is een groot deel van de fieldlabs relevant, zoals Dutch Optics Centre, Fieldlab Smart Welding Factory, Frehsteg, Flexible Manufacturing en De Duurzaamheidsfabriek.

### 4.3 ICT

#### Fotonica voor toenemende datastromen

De steeds toenemende vraag naar bandbreedte en het aantal apparaten en processen dat moet worden verbonden, betekent dat bestaande vormen van informatie-uitwisseling binnen enkele jaren onvoldoende zullen zijn. De ontwikkeling van de toekomstige multi-terabit-communicatietechnologieën zal gebaseerd zijn op optische infrastructuur en -technologie. Technologieën die nodig zijn om deze problemen aan te pakken variëren van laser-satellietcommunicatie ter ondersteuning van het groeiende internet der dingen, tot geïntegreerde fotonische apparaten die helpen de communicatiecapaciteit te vergroten en het energieverbruik in datacenters en consumenten-communicatie over de hele wereld te verlagen.

Photonics21: "In 2030, our societies and economies will be fully digital. To make our digital society work and to safeguard trust, comfort and privacy, photonics is the key tool for delivering the necessary performance, resilience and security in data services and network infrastructures. To handle vastly greater flows of data, IT systems will be much more powerful than today while using less energy, thanks to the emerging shift to high-performance optical and quantum computing."

#### Waardeketen

Er zijn maar weinig grote industrieën betrokken in productie van fotonische producten voor ICT in Nederland. Het toepassingsgebied laser satellietcommunicatie is bijvoorbeeld nog in opbouw. De eerste technologieontwikkeling via onder andere ESA-projecten is uitgevoerd bij de universiteiten en kennisinstituten, met deelname van de bekende en nieuwe Nederlandse ruimtevaartbedrijven. Daarnaast werken universiteiten en innovatieve bedrijven aan de ontwikkeling van geïntegreerde fotonica-applicaties voor datacenters. Deze ontwikkeling wordt gestuurd door een internationale roadmap, waarbij wetenschappers en bedrijven vanuit de gehele wereld betrokken zijn. Nederland heeft ook een sterke positie in onderzoek naar quantum technologieën, waaronder quantum encryptie, in het Qutech instituut. Ook hier zijn er nog geen andere commerciële partijen in de waardeketen. Nederland kent een snel groeiende speler in het domein van glasvezel-naar-het huis communicatie: Genexis.

#### Groeimogelijkheden voor het cluster ICT

##### A) Opscaling van laser satellietcommunicatie

Voor laser satellietcommunicatie moet een leidende positie (technisch en commercieel) in Europa veroverd worden. Hiervoor zal het Nederlandse ecosysteem zich op bepaalde hightech modules van de systemen moeten concentreren. Hierbij moet de productie opge-

schaald worden van enkelstuks naar middelgrote series, via een strikt design-to-cost proces.

##### B) Snelle datacommunicatie met geïntegreerde fotonica

Het verder uitbouwen van de toepassing van geïntegreerde fotonica vereist het realiseren van de eerste generaties van producten. Vanuit de huidige research en een aantal innovatieve mkb-bedrijven met maakfaciliteiten kan het ecosysteem, met extra nadruk op het creëren van systeemintegrator bedrijven, verder groeien en de internationale marktpositie versterken. In Nederland en internationaal worden verschillende materiaalplatforms toegepast. Het is nog open welke van deze platforms in de toekomst op grote schaal toegepast gaan worden. De datacenters in Nederland vormen een goede lokale start-markt voor geïntegreerde fotonica.

##### C) Markt voor lichtbronnen verkennen

De markt voor lichtbronnen voor telecommunicatie (VCSEL's) moet verkend worden, en een gecoördineerde technologieontwikkeling is nodig om hierin een rol te kunnen spelen. Hiervoor moet de in Nederland beschikbare kennis en ervaring snel geïnventariseerd en gecombineerd worden. De communicatie binnen machines en tussen machines, naar-huis en in-huis vormen bij elkaar een groot toepassingsgebied.

##### D) Valoriseren kennis quantum encryptie

Voor quantum encryptie moet de goede positie in onderzoek omgezet worden in een goede marktpositie; hierbij is een aantal internationale concurrenten actief.

#### Randvoorwaarden

Voor het cluster ICT is het belangrijk dat beginnende initiatieven in Nederland de juiste mogelijkheden krijgen om een product marktrijp te maken en internationaal te verkopen. Een voorbeeld van een kans is 'fibre-to-the-home' van Genexis. Als gemiste kansen worden wifi en bluetooth aangehaald, die uiteindelijk in andere landen zijn ontwikkeld.

Algemene randvoorwaarde voor groei van het ICT cluster is dat de investeringsbudgetten (onder andere vanuit venture capital) vergroot moeten worden. Hierbij kan een samenwerking tussen grote (kennis-) leveranciers en kleine nieuwe partijen de slaagkans van het aantrekken van VC-kapitaal vergroten.

Daarnaast moet de relatie met grote klanten, waarvan het merendeel van buiten Nederland, versterkt worden. Dit betreft zowel de grote satellietcommunicatie bedrijven als de bedrijven die datacenters en glasvezelnetwerken inrichten. Door samenwerking met deze grote spelers kan de Nederlandse industrie met nieuwe technologie sneller een groter marktaandeel pakken.

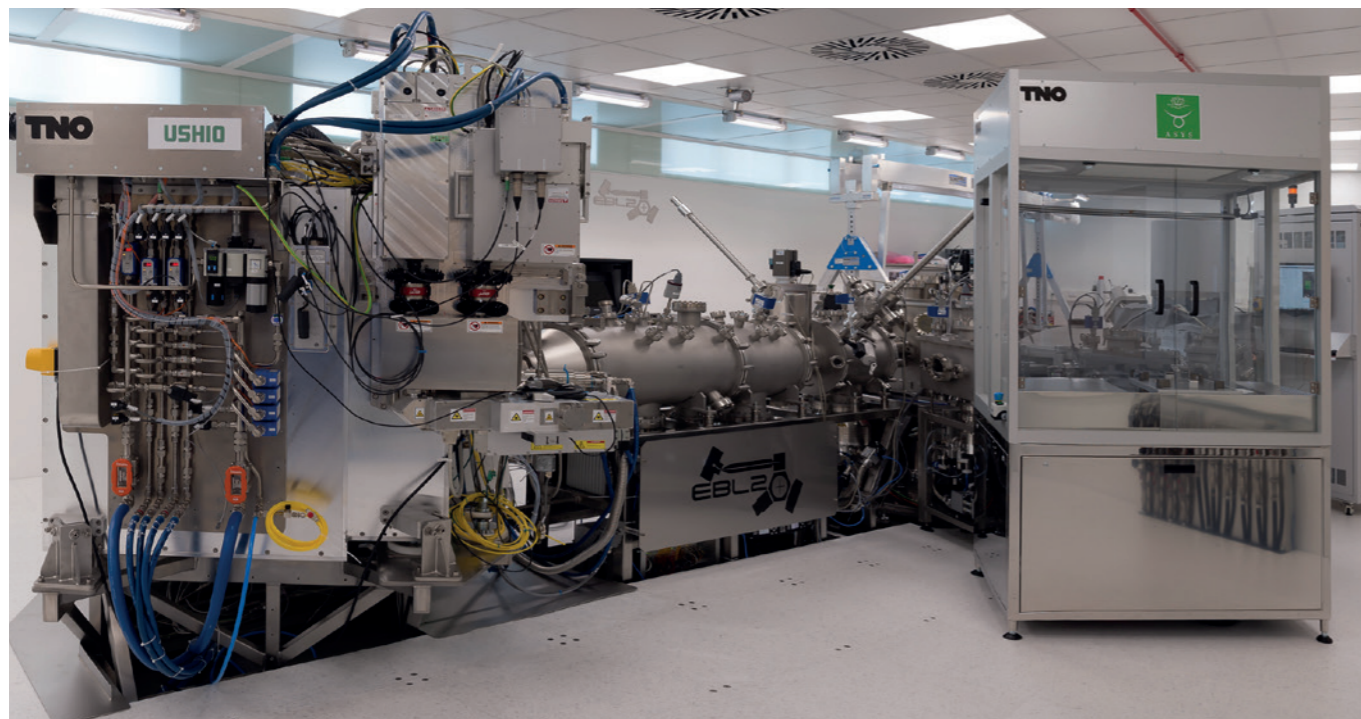
### 4.4 SEMICON

#### Semicon als basis voor digitalisering

Digitalisering maakt een grote verandering van onze samenleving mogelijk in alle facetten van ons bestaan. De semicon-industrie produceert de basiscomponenten die digitalisering mogelijk maken zoals de machines voor chipproductie van ASML. In deze productie-apparatuur komt fotonica in veel facetten terug; nano-lithografie, lenzen, optische sensoren, process control, metrologie en laser-systemen. Naast deze tak is er die van ontwerp, productie en packaging van IC's, vertegenwoordigd in het Business Cluster Semiconductors Netherlands (BCSEMI NL).

#### Waardeketen

De afgelopen decennia heeft zich in Nederland een wereldwijd uniek semicon cluster ontwikkeld met bedrijven als ASML, ASMI, ASM-PT en BESI in de kern en een uitgebreid toeleveranciers netwerk daar rondom heen. Het zwaartepunt hiervan ligt rondom Eindhoven, met een brede doorwerking naar de rest van Nederland en Duitsland (Zeiss). Vanuit de waardeketen beschouwd ligt het accent van het cluster op productiemachines die aan bedrijven elders in de wereld worden geleverd, zoals Intel, Samsung, TSMC en assembly-houses als ASE.



Extrem Ultra Violet (EUV) belichtings- en analysefaciliteit EBL-2 (TNO en USHIO)

#### Groeimogelijkheden voor het cluster Semicon

Fotonica is een breed technologisch veld, met toepassingen in onder andere metrologie en sensoren. Er is een grote verscheidenheid aan ontwikkelactiviteiten. Meer focus op specifieke onderwerpen kan helpen om tot een versnelling te komen. Innovatieactiviteiten in dit cluster richten zich op een aantal hoofdlijnen:

##### A) Versterking en vernieuwing van de bestaande positie in semicon

Gegeven de unieke positie is er nu een mogelijkheid om de volledige ontwikkeling en productie van fotonische subsystemen in semicon productiemachines in Nederland te gaan realiseren. De nummer 1 positie van ASML biedt de mogelijkheid meer bedrijven bij elkaar te brengen rondom fotonica voor semicon. Het ecosysteem van maakbedrijven en 'optische productie om de hoek' zou kunnen worden versterkt net als de koppeling tussen design en maakbedrijven. Kleine bedrijven kunnen profiteren van het imago en de positie van ASML als boegbeeld bedrijf.

Ook biedt de unieke internationale positie de mogelijkheid om het initiatief te nemen voor een roadmap semicon-fotonica op EU niveau en wereldwijd. Onderzoek dat in deze roadmap wordt geagendeerd betreft bijvoorbeeld nieuwe lichtbronnen en sensor ontwikkeling. De roadmap geeft ook invulling aan samenwerking met buitenlandse bedrijven/universiteiten en een betere internationale profilering als toonaangevend cluster Semicon.

##### B) Benutting van bestaande kennis en assets voor nieuwe toepassingen

De unieke technologiepositie in fotonica voor semicon biedt ook ruime mogelijkheden om nieuwe producten en toepassingen te creëren. Applicatie-gedreven uitdagingen, als basis voor systeemintegratie, kunnen hier richting aan geven. Bijvoorbeeld lithografie machines voor het printen van organische materialen en het structureren van oppervlakten voor de medische industrie. Nederland is sterk in systeemintegratie, onder andere via het multidisciplinair samenwerken met andere technologieën, waarbij de koppeling met maakindustrie mkb moet worden versterkt.

#### C) Ontwikkeling nieuwe productietechnologie voor nieuwe soorten chips zoals PIC's

Naast het ontwikkelen van fotonica componenten voor semicon productiemachines komen nu Photonic Integrated Circuits in het vizier. Daarbij gaat het om chips waarop lichtbronnen zijn geïntegreerd. Deze ontwikkeling komt wereldwijd<sup>20</sup> in een versnelling met nieuwe koploperbedrijven in een initiatiefrol. Een geheel nieuwe keten (van design, en designsoftware tot productie en productie-equipment (foundries)) is hierbij in ontwikkeling. Een verdere internationale verankering van deze ontwikkeling is van belang naast de oprichting van PITC's (photonic integrated technology centers) zoals voorzien in het investeringsplan van de PPS PhotonDelta.

#### Randvoorwaarden

Bovenbeschreven drie hoofdlijnen zijn alle geholpen bij versterking van het semicon-fotonica ecosysteem. Een versnelling kan worden bereikt als op regionaal en nationaal niveau spelers (opleidingen, business, technologie) intensiever bij elkaar worden gebracht. PPS-samenwerking creëert ruimte voor het ontwikkelen nieuwe innovaties en business. Dit is van belang omdat de bedrijven beperkt aan echte vernieuwing toekomen als gevolg van grote druk wegens volle orderportefeuilles. Een sterk ecosysteem draagt ook bij aan het aantrekken van nieuwe bedrijven.

## 4.5 ENERGIE & MILIEU

#### Fotonica voor de energietransitie

In een hoog tempo verbruiken wij fossiele brandstoffen. De uitstoot van vervuilende gassen en fijnstof als gevolg van het gebruik van deze brandstoffen heeft schadelijke gevolgen voor milieu en gezondheid. De gevolgen klimaatverandering worden steeds duidelijker. En luchtverontreiniging is één van de grootste bedreigingen van de volksgezondheid volgens

een in 2016 gepubliceerd rapport van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO).<sup>21</sup>

Tijdens de Klimaatop in Parijs eind december 2015 is de eerste stap gezet voor het beperken van deze schade. De klimaatambities die zijn afgesproken moeten het energiesysteem ingrijpend veranderen. Nederland staat, net als de andere Europese landen, voor de opgave om het energieverbruik en de CO<sub>2</sub> uitstoot voor 2030 drastisch te verminderen.

De technologie in dit cluster is zeer uiteenlopend. Optische sensoren, zonnecellen en remote sensing leveren een bijdrage aan deze energietransitie. Die bijdrage ligt in drie domeinen: decentrale energieopwekking, grootschalige energieopslag en klimaat- en milieumonitoring.

#### Waardeketen

De Nederlandse kennisinstituten zijn goed vertegenwoordigd in het onderzoek naar zonnecellen met kennisinstituten zoals ECN-TNO, Radboud Universiteit Nijmegen, Universiteit Twente, AMOLF en Solliance. Nederland maakt productieapparatuur van wereldklasse, maar de productie van zonnecellen vindt bijna niet in Nederland plaats. De productie gebeurt grotendeels in China waar productiekosten lager liggen door subsidies en staatssteun die niet altijd voldoet aan WTO-regels.

Daarnaast heeft Nederland veel kennis over instrumentenontwikkeling voor milieu en klimaatmonitoring. Hier heeft Nederland een goed track-record, ook in de dataverwerking. De waardeketen is echter nog beperkt ontwikkeld.

<sup>20</sup> 600 M\$ in US beschikbaar voor AIM voor PICs

<sup>21</sup> WHO (2016). Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease

## Groeimogelijkheden voor het cluster Energie & Milieu

### A) Nieuwe, kosteneffectieve zonnecel-oplossingen

Nederland beschikt over 892 km<sup>2</sup> aan geschikt dakoppervlak voor zonnepanelen.<sup>22</sup> Door kleinere, geïntegreerde zonnepanelen te produceren, in een totaalsysteem met hoge energie-efficiëntie, kan het dakoppervlak effectiever bedekt worden met zonnepanelen. Dit kan de totale energie-opwekking van Nederland sterk vergroten.

Een andere kans is het vervangen van asbest op daken door zonnepanelen. In 2024 moet al het asbest verwijderd zijn. In Nederland alleen al is dit een oppervlakte 120-150 miljoen m<sup>2</sup>. Dit is potentieel een grote afzetmarkt voor zonnepanelen. Daarnaast kunnen sensoren gebruikt worden om de concentratie schadelijke stoffen te meten, zodat asbest zo veilig mogelijk verwijderd wordt.

### B) Export van luchtkwaliteitsmeters

Het leveren van instrumenten voor luchtkwaliteit monitoring, of van de data, kan mogelijk een nieuw Nederlands exportproduct worden. Er is een grote markt voor luchtkwaliteitsmeters bij bijvoorbeeld voor overheden, verzekeringsmaatschappijen, huishoudens, bedrijven, schoolbesturen en hotels. Nederland heeft een uitstekende technologiebasis voor het ontwikkelen van deze meters. Maar deze kansen worden nog niet benut. De industrie en de overheid zijn amper bekend met de kansen die deze technologie biedt voor het monitoren van het milieu.

### C) Controleren van emissieafspraken op staatsrechtelijke schaal

Tijdens de Klimaattop in Parijs hebben landen over de hele wereld afspraken gemaakt over CO<sub>2</sub> reductie en energieverbruik. Om deze afspraken te controleren, moet de uitstoot van broeikasgassen op staatsrechtelijke schaal

gemonitord worden. Hier liggen kansen voor Nederland. Nederland heeft een unieke technologiepositie in de ruimtevaart, waardoor controleren van emissieafspraken op staatsrechtelijk niveau mogelijk is.

### Randvoorwaarden

De meettechnieken voor water- en luchtkwaliteit (vervuilende gassen en fijnstof) worden bepaald in de regelgeving en hierdoor zijn innovaties niet eenvoudig te implementeren. Nederland beschikt wel over de technologie om deze uitdagingen op te pakken. Dit geldt ook voor de zonneceltechnologie. Het stimuleren van het toepassen van nieuwe zonneceltechnologie door de overheid zal een extra stimulans betekenen voor dit soort producten. Innovatieve start-ups staan klaar om nieuwe technologie om te zetten in producten. De groei van deze jonge bedrijven kan enorm versneld worden als ze in een incubator-omgeving kunnen "opgroeien".

De markt is onvoldoende bekend met de kansen die fotonica biedt. De resultaten van milieu en klimaatmonitoring worden grotendeels voor wetenschappelijke doeleinden gebruikt en maar amper voor bedrijfs- en consumentendoeleinden. Om deze kans te benutten is beter contact met deze eindgebruikers noodzakelijk, bijvoorbeeld via een whitepaper, dat inzicht biedt in de toepassingen van fotonica voor energie en milieu. Daarnaast kan meer cross-sectorale samenwerking de Nederlandse concurrentiepositie van spelers in het cluster Energie & Milieu verbeteren, bijvoorbeeld de samenwerking met ICT bij de koppeling van optische sensoren voor energiebesparing aan smartphone apps.



Dunne folie techniek (Solliance)

## 4.6 AGRIFOOD

### Efficiënte, duurzame en veilige voedselproductie

Dé maatschappelijke uitdaging voor de agrifood sector is om in 2050 de wereldbevolking, die dan uit 10 miljard mensen bestaat, te kunnen voeden. Een enorme toename van de voedselproductie is daarvoor noodzakelijk. De landbouw is nu al verantwoordelijk voor 70% van het waterverbruik, 24% van de uitstoot van broeikasgassen en wereldwijde aantasting van het milieu. Verhogen van de voedselproductie met de huidige productieprocessen is daardoor onhoudbaar. Tegelijkertijd leggen consumenten steeds meer de nadruk op voedselveiligheid, kwaliteit en transparantie van de waardeketen. Een groeiende bezorgdheid richt zich ook op voedselverspilling: een derde van al het geproduceerde voedsel wordt verspild tijdens de productie, verwerking, distributie of op het moment van consumptie.<sup>23</sup>

Fotonica draagt bij aan efficiëntere, duurzamere en veiligere voedselproductie. Zo ontwikkelt Nederland lichtsystemen om efficiënte groei van gewassen te bevorderen en fotonische sensoren voor precisielandbouw en monitoring van voedselkwaliteit. Specifieke voorbeelden van toepassingen zijn het monitoren van bodemgesteldheid, het bewaken van luchtkwaliteit in stallen, het voorspellen van eiwitgehalte van graanoogsten en het met grotere nauwkeurigheid vaststellen van voedselbederf.

### Waardeketen

De sterke positie van de Nederlandse agrarische sector is internationaal erkend. In combinatie met de sterke kennispositie in fotonica van Wageningen University & Research (WUR) en bedrijven zoals Philips Lighting en Unilever is het cluster goed geïntegreerd. Het agrifoodnetwerk is gewend om gezamenlijk R&D te ontwikkelen. Fotonica-oplossingen voor de agrifoodsector worden primair ontwikkeld voor en met apparatenbouwers zoals Philips Lighting en Lely en hun hightech toeleveranciers zoals SDF.

<sup>22</sup> Deloitte (2018) : <https://www2.deloitte.com/nl/nl/pages/data-analytics/articles/zonnepanelen.html>

<sup>23</sup> Photonics21 vision paper Europe's age of light (2017)

Daar staat tegenover dat de agrifoodsector “wordt geleefd door de supply chain”. De grote voedselproducenten, zoals Unilever, hebben samen met de grote retailers, zoals AH en Jumbo, de macht over de prijzen en de afzet. Dit maakt het doorvoeren van innovaties aan het begin van de waardeketen moeilijk.

#### **Groeimogelijkheden voor het cluster Agrifood**

De sterke, internationaal erkende hightech positie van Nederland biedt de volgende kansen:

#### **A) Uitbouwen positie van Nederland als proeftuin**

Nederland is een goede proeftuin voor innovaties. Er zijn diverse soorten landbouw, externe

factoren zijn goed onder controle en het land is klein en compact. De proeftuin kan zich onder andere richten op nieuwe lichtlichtsystemen om efficiënte groei te bevorderen, op fotonische sensoren voor precisielandbouw en op fotonische sensoren voor monitoring van voedselkwaliteit voor en tijdens de oogst, tijdens de verwerking en in het schap. Versnelling van de proeftuin kan bereikt worden door efficiënte innovatie financiering en het verwijderen van innovatie-belemmerende regelgeving.

Daarnaast is het stimuleren van samenwerking met grote internationale bedrijven en universiteiten, en met landen zoals Brazilië en China, noodzakelijk voor positionering van Nederland als hightech land.



Fenotypering van gewassen (WUR)

#### **B) Nieuwe verdienmodellen voor de agrarische sector**

Ontwikkeling op het gebied van milieu, circulaire economie en energietransitie leiden tot kansen voor Nederland. Bijvoorbeeld asbestsanering van staldaken biedt de kans om de nieuwe staldaken te voorzien van zonnepanelen. Zo wordt de agrarische sector een smart power plant. Versnelling hiervan kan worden bereikt door een langetermijnvisie, een planmatige aanpak, focus en snelle besluitvorming en het stimuleren van cross-over samenwerking met het energiedomein.

Daarnaast biedt fotonica kansen voor nieuwe verdienmodellen in bijvoorbeeld de tuinbouw. Slim omgaan met data uitwisselsystemen maakt nieuwe diensten zoals E-Growing mogelijk. Dit is een “growing as a service” concept waarbij de investeerder betaalt per geproduceerd product. De productie wordt aangestuurd door ICT-systemen die leren van de data die gegenereerd wordt door de (optische) sensorsystemen. Een versnelling kan worden bereikt door onder andere in te zetten op technologieontwikkeling op het vlak van sensorselectie en -ontwikkeling en digitaliseren van de teeltsturing.

#### **Randvoorwaarden**

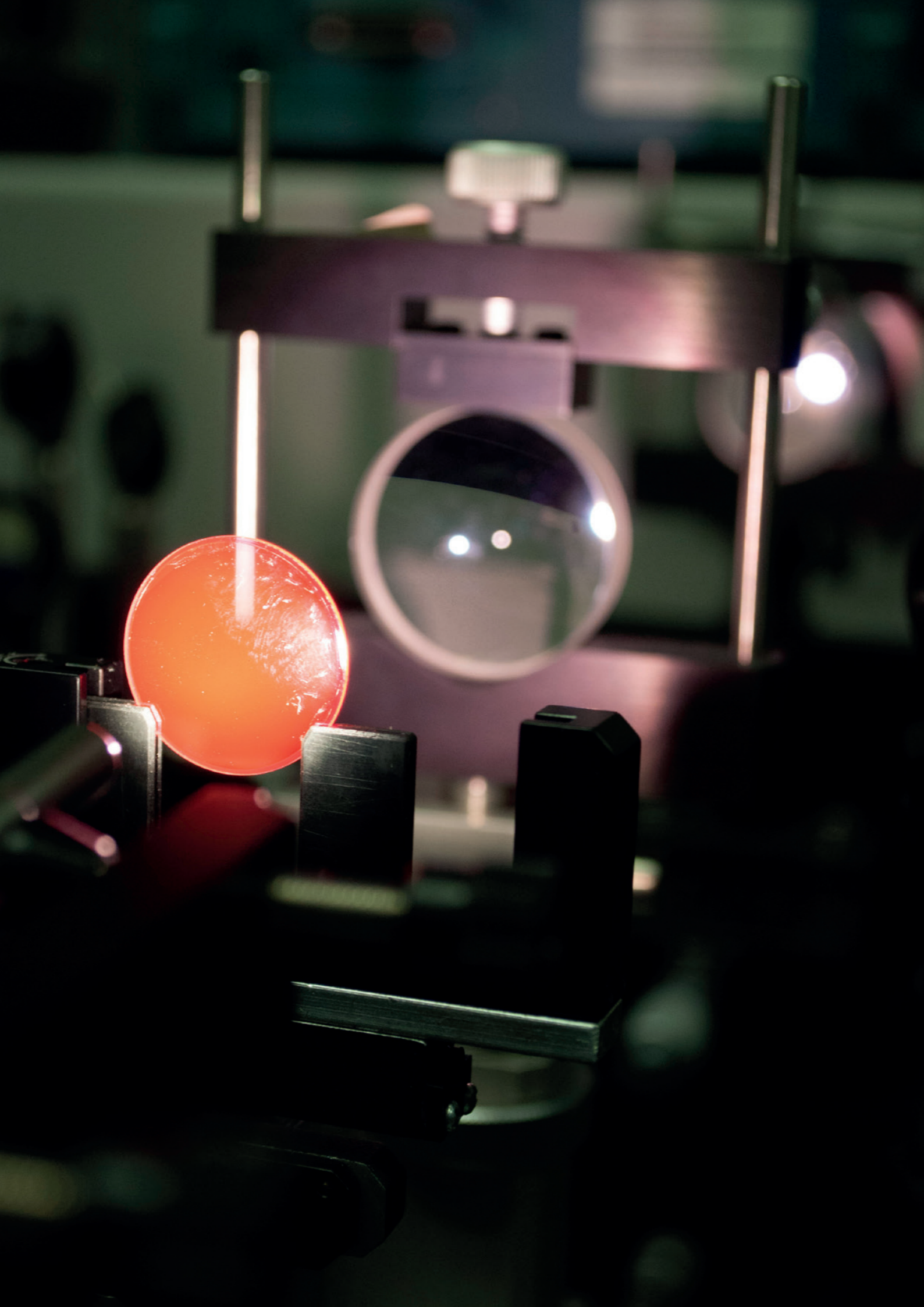
De behoefte aan efficiëntere en duurzamere voedselproductieprocessen zal de ontwikkeling van fotonische toepassingen voor de agrifoodsector versnellen. Nieuwe oplossingen zijn nodig hoewel de potentiële eindgebruikers nog terughoudend zijn met investeren in nieuwe technologie (mede door lage winstmarges en fluctuerende voedselprijzen). Daarbij komt dat potentiële eindgebruikers vaak nog onvoldoende op de hoogte zijn van de mogelijke oplossingen die fotonica kan bieden.

## **4.7 CONCLUSIES UIT DE CLUSTER SESSIES**

Uit de sessies komt het algemene beeld naar voren dat fotonica enorme kansen voor de industrie biedt. In onze kennisinstituten worden belangrijke innovatieve technologieën ontwikkeld en vormgegeven, maar het instrumentarium om deze kansen te benutten behoeft verbetering. Er blijken ook steeds meer cross-overs te ontstaan: koppelingen tussen toepassingsgebieden waarin een zelfde technologie-oplossing ingezet wordt.

Belangrijke pijlers voor innovatie zijn de beschikbaarheid van technologie, partners, en financiering. De technologie is ruim voorradig: er wordt bij de kennisinstituten veel unieke, bruikbare kennis gegenereerd. Het proces om deze kennis snel en efficiënt om te zetten in toepassingen voor bedrijven is nog voor verbetering vatbaar. Er worden nu de eerste stappen gezet naar een betere koppeling van de industrie aan de kennisroadmaps, en dit blijkt voor beide partijen waardevol. De beschikbaarheid van kennisdragers (specialisten in fotonica) voor de bedrijven is nog te laag; er is over de gehele breedte van toepassingsgebieden behoefte aan meer gespecialiseerd personeel, van mbo-, hbo- en wo-niveau. Momenteel wordt de groei van de sector hierdoor beperkt. De opleiding van bestaand personeel (skills) en nieuw personeel (educatie) moet geïntensiveerd worden. Het verhogen van de bekendheid van fotonica, en verbeterde branding, zijn hiervoor een noodzakelijke voorwaarde.

Een eerste aanzet voor een gecoördineerde aanpak van deze aspecten, samen met initiatieven voor investering in gezamenlijke faciliteiten en intensievere samenwerking, worden in het volgende hoofdstuk gegeven.



## 5 / AGENDA VOOR DE TOEKOMST

**In het vorige hoofdstuk is aangegeven wat de aandachtspunten zijn om versnelling van fotonica-ontwikkeling voor de clusters mogelijk te maken. In dit hoofdstuk worden concrete voorstellen gedaan in de vorm van awareness- en branding-activiteiten, investeringsplannen, kennisontwikkeling en educatie.**

De Nationale Agenda Fotonica versnelt fotonica-ontwikkeling in Nederland door ontwikkeling van nieuwe technologie én door tegelijkertijd een sterke verbinding te maken met toepassingsdomeinen. De basisgedachte is dat er in concrete acties en actieplannen wordt geïnitieerd vanuit partijen die hun wortels hebben in de sleuteltechnologie fotonica en dat deze expliciet worden verankerd in de toepassingsdomeinen energie/klimaat en dergelijke in de vorm van clusters.

### 5.1 AWARENESS EN BRANDING

#### Awareness

Fotonica is bij het brede publiek een onbekend begrip. Terwijl deze technologie in veel producten wordt toegepast en op dit moment een grote ontwikkeling doormaakt. Ook bedrijven zijn zich vaak niet bewust van de kansen die fotonica hen biedt voor product- of procesinnovatie. In het kader van de Nationale Agenda Fotonica zullen nieuwe initiatieven worden ontwikkeld om bedrijven en kennisinstellingen bewust te maken van de nieuwe kansen en mogelijkheden van fotonica. De inzet is om te komen tot meer 'makel en schakel' evenementen en het verder intensiveren van innovatiescans zoals die nu bijvoorbeeld in het Europese programma ACTPHAST<sup>24</sup> worden uitgevoerd.

De fysieke locaties die in het kader van de Nationale Agenda Fotonica ontstaan, zoals PhotonDelta, Dutch Optics Centre, een medisch-fotonisch technologiecentrum zoals in Amsterdam, kunnen potentieel gaan fungeren als kern voor het versterken van deze ecosysteemen en voor het verbreden van de kennis van fotonica bij het brede publiek. Deze centra bieden verder begeleiding voor vragen over het innovatieproces. Bijvoorbeeld voor vragen zoals 'hoe ziet de markt eruit?', 'wie doet wat in Nederland?' en 'welke financieringsmogelijkheden heb ik?'.

#### Branding: "Dutch photonics solutions for global challenges"

Alle clusters geven aan dat promotie van Nederlandse fotonica in het buitenland sterk verbeterd kan én moet worden. Op dit moment zijn er veel verschillende brandingsinitiatieven en daardoor mist soms de samenhang. Samenwerking over de initiatieven heen versterkt de positie van Nederland. Ook in de cross-sectorale samenwerking liggen kansen. Nederland is overzichtelijk en heeft een compact hightech ecosysteem. Door Nederland internationaal gezien als één fotonicacluster (met inzet van overheid) op de kaart te zetten, kan Nederland zich beter naar buiten toe profileren. Holland High Tech branding is een goed voorbeeld: de oranje huisstijl en de karakteristieke tulp is in het buitenland een bekend begrip voor 'high tech solutions for global challenges'.

<sup>24</sup> ACTPHAST: "One-stop-shop rapid prototyping incubator" voor ondersteuning van fotonica-innovaties door Europese bedrijven. ACTPHAST wordt mede gefinancierd door de Europese Commissie onder Horizon2020.

### Acties

De inzet is dat PhotonicsNL, PhotonDelta, DOC, medische centra en andere, in afstemming, de (inter-) nationale branding van fotonica gaan intensiveren én door middel van concrete communicatie- en awareness-initiatieven de verbinding met de toepassingsdomeinen/clusters gaan versterken.

## 5.2 INVESTERINGSINITIATIEVEN

Verschillende partijen in de clusters hebben zich verenigd om samen te werken aan fotonica investeringsinitiatieven, meestal publiek-private samenwerkingen (PPS) voor onderzoek en innovatie (Figuur 8). Deze worden hieronder nader toegelicht. Deels zijn dit gevestigde initiatieven, zoals PhotonDelta en Dutch Optics Centre, deels zijn dit nieuwe initiatieven die mede dankzij de clustersessies voor deze Nationale Agenda zijn ontstaan. In deze investeringsinitiatieven wordt

een aantal groeiambities, zoals beschreven in het vorige hoofdstuk, ingevuld. De verwachting is dat de komende tijd nog meer initiatieven zullen volgen.

Het vertrekpunt voor de agenda is dat deze investeringsinitiatieven zullen inzetten op nieuwe baanbrekende fotonische technologie ontwikkeling goed verankerd in de toepassingsdomeinen. De PPS'en doen dit via hun eigen programma's. Een goede verbinding van de PPS'en met de toepassingsdomeinen wordt op tenminste twee manieren geborgd. Ten eerste wordt ingezet op het oprichten en/of versterken van **applicatielabs**. Hierin ontwikkelen partijen vanuit het toepassingsdomein en vanuit fotonica nieuwe technologische oplossingen zoals beoogd in de Medische Technologie Centra. Ten tweede worden **PPS-trekkers** voorzien die zowel erkend zijn in de fonicawereld als in het toepassingsdomein. Deze trekkers zijn in staat sleutelspelers bij elkaar te brengen rondom R&D programmering en voor het borgen van impact. In accent zijn de PPS'en

PhotonDelta en Dutch Optic Centre gebaseerd op hun ('enabling') technologieën (grijs) en de overige PPS'en op hun toepassingsdomeinen. Alle PPS'en nemen fotonica als vertrekpunt en maken dat toepasbaar. De Nationale Agenda Fotonica streeft naar maximale synergie-effecten tussen de PPS'en.

### 5.2.1 Photonics Technology for Health Centre

#### Ambitie

Op medisch vlak is een sterk cluster met de ambitie het Photonics Technology for Health Centre (PTHC) op te zetten. Hierin worden de laatste ontwikkelingen in fotonica vertaald naar de wereld van 'life sciences and health' door middel van translationeel onderzoek<sup>25</sup>. Dit is onderzoek gericht op de ontwikkeling en vertaling van onderzoeksresultaten naar klinische toepassingen in diagnostiek, preventie en therapie. Kennis wordt op deze manier op één locatie vertaald naar directe toepassingen in de kliniek welke ook direct kunnen worden uitgevoerd; momenteel is er een unieke colocatie van medici en fysici bij het Amsterdam UMC. Daarom wordt voorgesteld om het zwaartepunt van het PTHC ook daar te leggen.

#### Inhoud

In de R&D-agenda zet het PTHC in op het onderzoek naar en de ontwikkeling van bio-fotonische oplossingen en instrumenten langs het gehele continuüm van de gezondheidszorg. Focus ligt in eerste instantie op neurodegeneratieve ziektes, oncologie en regeneratieve geneeskunde. Een uitgebreide uitwerking van de R&D-agenda is beschikbaar.

Nauwe relaties tussen fysici en clinici zijn cruciaal voor de gezamenlijke ontwikkeling, validatie, acceptatie en toepassing van nieuwe

medisch fotonische technologieën. Om dat efficiënt te realiseren zijn speciale operatiekamers nodig. Hierdoor kunnen de nieuwste medisch fotonische technieken, processen en instrumenten daadwerkelijk worden toegepast voor een direct resultaat. Daarnaast zal het PTHC optische labruimtes aanbieden in en om de klinische zorg voor onderzoeksgroepen en bedrijven. Een translationeel research programma zal worden opgezet om optisch/fysische als klinische "brug" aio's te financieren. Ook zal het PTHC bedrijven en onderzoekers professioneel begeleiden bij regelgeving rond medisch onderzoek en het vermarkten van de opgebouwde kennis. Een goede route om nieuwe technologie naar de markt te brengen is via start-ups en scale-ups. Zo zijn in Amsterdam reeds diverse succesvolle start-ups op het gebied van medische fotonica voortgebracht (Optics11, LUMICKS en Tritos Diagnostics).

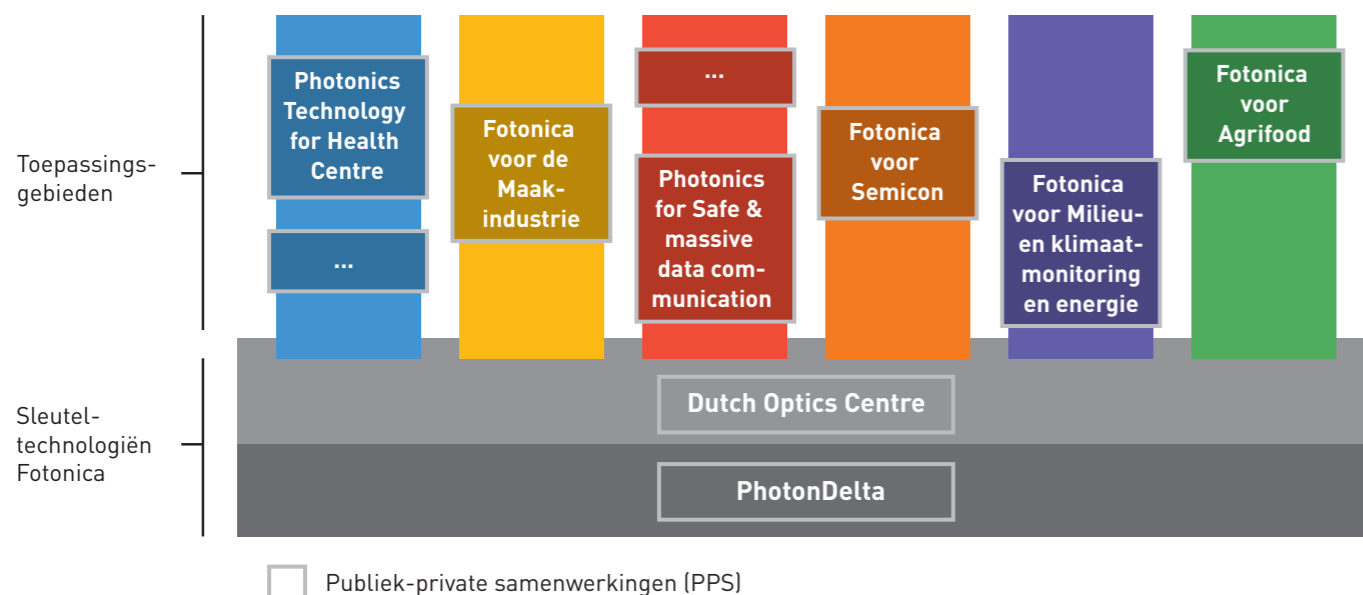
#### Betrokken partijen

Het cluster bestaat uit VU, UvA, Amsterdam UMC met aansluiting op het NKI, NIKHEF, het Dutch Optics Centre, PhotonDelta en het recent aangekondigde European Medicines Agency (EMA). Andere betrokken partijen zijn:

- Universiteit Twente, de Biomedical Photonic Imaging Group;
- TU Delft, Medical Instruments & Bio-Inspired Technology Group;
- Erasmus MC, Biomedical Engineering, Center for Optical Diagnostics and Therapy;
- Bedrijven, onder andere Lionix International, FTS, Exometry, Nicolab, Tritos Diagnostics, ScinVivo, Quest Medical Imaging, Avantes, Deam, Heidelberg Engineering (DE), BD Biosciences (USA), Ninepoint (USA), Philips (NL).

FIGUUR 8

### Investeringsinitiatieven in het kader van de Nationale Agenda Fotonica



<sup>25</sup> Translationeel onderzoek vertaalt resultaten uit fundamenteel onderzoek naar toepassing in de praktijk.

## 5.2.2 Fotonica voor de maakindustrie

### Ambitie

De ambities voor dit toepassingsgebied zijn:

- fotonica voor het meten van producten en tijdens productie, aansluitend bij Smart Industry;
- productiemiddelen op basis van fotonica-technologie;
- asferische en vrije-vorm optische componenten;
- ontwikkeling van front-end en back-end productiesystemen voor fotonische chips.

### Inhoud

In de maakindustrie worden op fotonica gebaseerde instrumenten gebruikt voor metingen aan producten en voor het maken van producten.

#### *Meten van producten en tijdens productie: Smart Industry*

In de maakindustrie is Smart Industry (ook wel industrie 4.0) een belangrijke ontwikkeling; de digitalisering van de maakindustrie waarmee flexibiliteit en kosteneffectiviteit worden vergroot. Geavanceerde optische sensoren, 3D-machinevisie en 3D-beeldvorming leggen de basis voor uiterst nauwkeurige, onderbrekingsvrije productieprocessen en autonome robots; 3D vision & vision in the loop systemen. Voorspellend onderhoud, mogelijk gemaakt door optische waarneming, bewakingssystemen en niet-destructieve testtechnologieën zoals infrarood, vermindert de uitval van apparatuur. Rijke visuele communicatie zoals augmented reality en 3D-displaytechnologie transformeren elk aspect van het productieproces, van productontwerp en productie tot onderhoud.

#### *Productiemiddelen op basis van fotonica-technologie*

Hoogvermogen-lasers hebben een revolutie teweeggebracht in de industriële verwerking en introduceren precisietechnologie, zelfs voor kleine partijformaten. De volgende generatie lasersystemen is gericht op snellere en efficiëntere productie. De industriële productie van micro- en nanomaterialen en structuren is een andere snel evoluerende spin-off van krachtige

lasers, waarmee nanotechnologietoepassingen van het lab naar de markt gebracht kunnen worden.

#### *Asferische en vrije-vorm optische componenten*

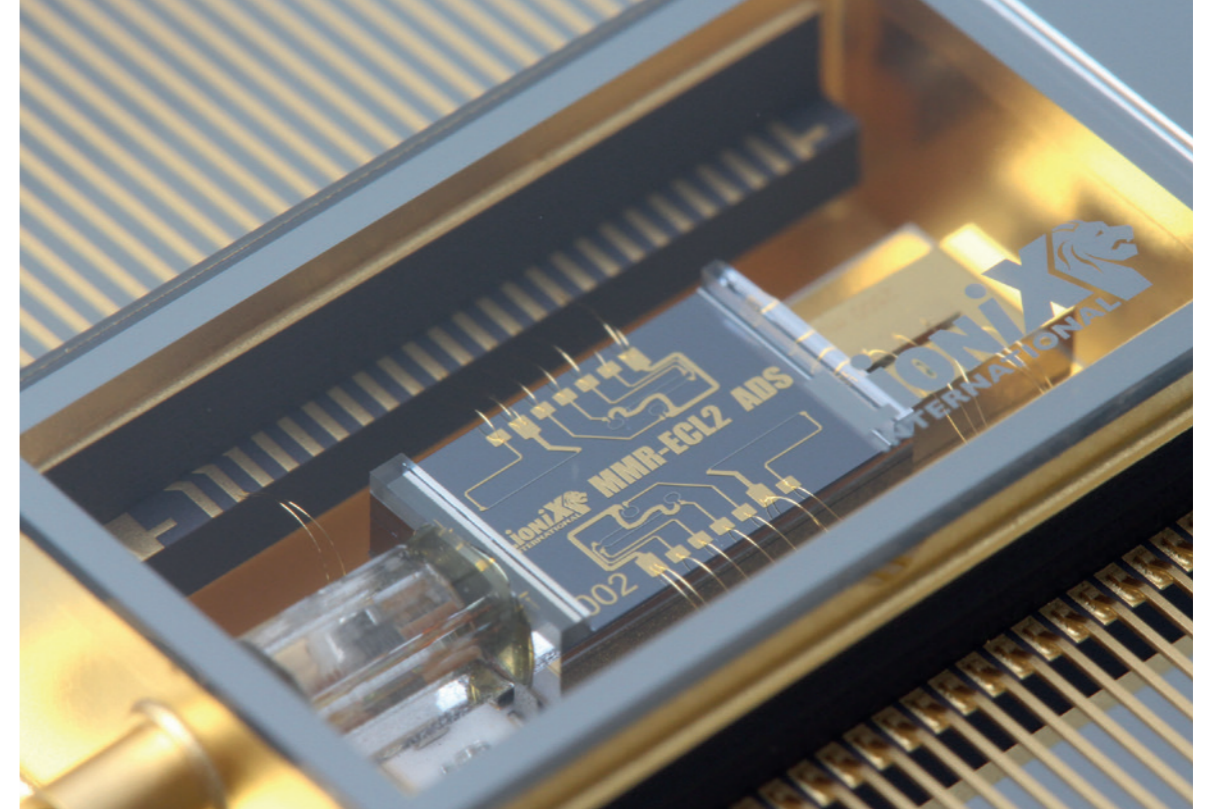
Het investeren in infrastructuur voor productie van asferische en vrije-vorm optische componenten is gericht op de versterking van de optische maakindustrie die deze componenten levert en assembleert. Deze markt groeit ongeveer 10% per jaar. In moderne optische systemen (van verlichtingsoptiek en cameraobjectieven tot en met optomechanische maak- en meetsystemen) wordt asferische en vrije-vorm optiek de norm. In Nederland hebben we unieke kennis (onder andere TNO) over asferische en vrije-vorm optiek die rijp is om geïndustrialiseerd te worden.

De *ontwikkeling van front-end en back-end productiesystemen voor fotonische chips* biedt een kans voor optomechanische bedrijven. Deze apparatuur is nodig voor de toekomstige PIC-productie. Om deze kans te verzilveren is samenwerking tussen het cluster Maakindustrie en Semicon van belang. Dit is een overlapgebied tussen de enabling technologieën van DOC en PhotonDelta.

#### **Betrokken partijen**

Cameraproductanten (Adimec, Grassvalley, Amplye) en Industriële (vision) inspectie systemen (EKB, Beltech, SVC, Pliant, ARIS, Vision Partners, DVC). Fotonische productiemiddelen worden ontwikkeld of gebruikt door bedrijven zoals ASM-PT, Zenna Lasers, Lightmotif, SOLMATES, TRUMPF NL, Dutch United Instruments. Bedrijven zoals VDL, Sumipro, Diamond Kimberlit, TNO, Te Lintelo Systems, Physix, zijn actief bij het vervaardigen van freeforms.

Op het gebied van design, engineering & manufacturing van front-end en back-end productiesystemen voor fotonische chips zijn VDL, NTS, Hittech, DEMCON | Focal, Dutch Optics Centre, WWINN, Sioux, SsvA, IBS, S&T al actief. Voor ontwerp en productie van fotonische chips zijn bedrijven zoals Micronit, LioniX International, Smart Photonics, Effect Photonics, Technobis actief.



Afstembare laser met smalle lijnbreedte (LioniX International)

## 5.2.3 Photonics for Safe & massive data communication

### Ambitie

Wereldwijd neemt het internetverkeer exponentieel toe (verachtvoudigd over de periode 2015-20120). Veilige en breedbandconnectiviteit is nu topprioriteit voor overheden, industrieën, banken en leveranciers van vitale infrastructuur. Fabrikanten en serviceproviders zoals SpaceX, Onweb, Airbus, Telesat en Thales werken samen met netwerkexploitanten, investeerders en overheden aan nieuwe communicatie-infrastructuren met fotonische ultrahoge doorvoersatellieten en enorme satellietconstellaties. De introductie van een reeks nieuwe lasercommunicatiesystemen (inclusief Quantum Key Distribution -systemen) is gewenst om de volgende generatie veilige en breedbandige informatienetwerken en -diensten mogelijk te maken. Dit is een kans voor de Nederlandse industrie.

Het doel van dit investeringsinitiatief is het opzetten van een ecosysteem voor hoogwaar-

dige serieproductie van lasercommunicatiesystemen in Nederland. Nederlandse industrieën, onderzoeksorganisaties (zoals TNO) en universiteiten kunnen daarbij voortbouwen op een zeer sterke positie in de ontwikkeling en productie van hoogwaardige en betrouwbare fotonische systemen en terminals voor lasersatellietcommunicatie. En op 40-50 jaar ervaring in ruimtevaart- en de semicon-industrie.

### Inhoud

Om een high-end productieserie van lasercommunicatiesystemen te realiseren wordt er een PPS-programma opgezet. Deze PPS biedt ondersteuning (faciliteiten en financiële middelen) voor ontwikkeling en productie van nieuwe lasersystemen en -services in Nederland. Het ecosysteem, bestaande uit OEM-bedrijven<sup>26</sup> en hightech toeleveranciers, is open voor Nederlandse bedrijven, instituten en universiteiten. Het wordt ondersteund door Nederlandse overheidsinvesteerders en fondsen. Daarnaast stimuleert dit nationale programma internationale samenwerking.

<sup>26</sup> OEM: Original equipment manufacturer: bedrijf dat onder eigen merknaam complete machines en apparaten op de markt brengt.

De focus in dit ecosysteem ligt op de technologieën Photonics (high power, efficiënt), Laser/Fiber Techs, Communication/Modulation Tech, Fine & Precise Optics/Opto-Mechatronics (geïntegreerd met fotonica), High-End Serie Productie van fotonica, en RF-Photonic Transceivers.

Het doel van dit ecosysteem is om zoveel mogelijk nieuwe opdrachten van fabrikanten van communicatie-infrastructuur en serviceproviders binnen te halen voor Nederlandse bedrijven. Potentieel levert dit in de periode 2020-2030 1 miljard euro op door 'hoogwaardige apparatuur, verkoop en services', en 2-3 miljard euro per jaar in het komende decennium voor het leveren van de betreffende 'Secure & Broadband Connectivity Services'. In totaal betekent dit een aanzienlijke toename van bedrijvigheid en high-end arbeidsplekken in Nederland.

#### **Betrokken partijen**

Betrokken partijen zijn: Airbus DS Netherlands, DEMCON, Nedinsco, Hyperion, VDL ETG en Nederlandse Telecom Service providers, Cyber Security bedrijven en banken (namen kunnen niet vrijgegeven worden), NSO, DOC, TNO, TU Delft en TU Eindhoven. Daarnaast hebben een groot aantal bedrijven, waaronder veel mkb'ers, hun duidelijke interesse in deze ontwikkelingen uitgesproken en zullen zij mogelijk deelnemen aan de PPS.

#### **5.2.4 Fotonica voor Semicon**

##### **Ambitie**

De halfgeleiderindustrie wordt aangedreven door de wet van Moore, die stelt dat ongeveer elke twee jaar de rekenkracht van computers verdubbelt. Dit wordt mogelijk gemaakt door ontwikkelingen in de volledige productieketen van halfgeleiders. Deze productieketen kan grofweg worden verdeeld in front-end (onder andere ASML en ASM International) en back-end (onder andere ASM Pacific Technologies en BESI).

Door te focussen op fotonica worden vorderingen gemaakt in betere meet-, beeldvormings- en inspectietechnieken. Het Nederlandse

ecosysteem is zeer geschikt en zeer succesvol op dit gebied. Door het Semicon-cluster uit te bouwen, zal Nederland het verschil blijven maken in het realiseren van nieuwe fotonische ontwikkelingen.

##### **Inhoud**

De R&D agenda voor dit cluster richt zich op vier onderwerpen:

##### **Sterkere en meer veelzijdige lichtbronnen**

Voor lichtbronnen moet de aandacht gevestigd zijn op het verbeteren van het spectrum (dat wil zeggen de golflengte van het licht) en de helderheid van de lichtbron. Nieuwe metrologie- en inspectietoepassingen vereisen een betere controle van de golflengte van de lichtbron: voor sommige toepassingen is een langere golflengte vereist (infrarood). Andere gebruikssituaties vereisen korte golflengten (ultraviolet of zachte röntgenstralen), en soms is een enkele kleur / golflengte van licht nodig, zoals een laser. Een tweede grote driver is de intensiteit van het licht. Hogere intensiteit levert een sterker meetsignaal, en een verbeterde meetnauwkeurigheid. Voor lasergestuurde processen (bijvoorbeeld snijden of directe beeldvorming) zijn krachtige lichtbronnen in verschillende golflengten en lage kosten bij een verhoogde productie essentieel.

##### **Betere afbeeldende optische systemen**

Optische systemen bestaan uit een verzameling lenzen en spiegels, meestal aangevuld met meer geavanceerde optische elementen, zoals microspiegels, optische vezels, holografische elementen, roosters, prisma's, etc. Er is een grote behoefte aan nieuwe optische systemen die in staat zijn om het bovengenoemde licht van nieuwe lichtbronnen te transporteren, te focussen en in beeld te brengen. Dit vereist nieuwe optische ontwerp algoritmen en software, en een hogere kwaliteit van de optica: een gladder optisch oppervlak leidt tot minder lichtverstrooiing en minder ruis, en vrije-vorm optiek geeft nieuwe mogelijkheden voor beeldvorming. Voor in-process imaging doeleinden zijn snelle optische systemen nodig die ook resoluties bieden tot 10-100 nanometer.

##### **Ontwikkelingen in detectoren**

Lichtdetectie wordt aangedreven door de meet-snelheid, een hoge resolutie, meten met meer en kleinere pixels en een betere signaal-ruisverhouding. Dit stimuleert verschillende ontwikkelingen in detector- en cameratechnologie, zoals nieuwe detectormaterialen of spectrale convertorlagen op detectoren voor bredere golflengtedetectie.

##### **Geautomatiseerde beeldinterpretatie**

Na detectie van het licht moeten de beelden automatisch worden geïnterpreteerd, en ook hier zijn nieuwe ontwikkelingen nodig. Om te matchen met de in-process-toepassingen moeten de snellere software en verwerkingshardware. Om alle bovengenoemde ontwikkelingen effectief te maken, is systeemintegratie op hoog niveau vereist.

#### **Betrokken partijen**

De PPS Fotonica voor Semicon wordt opgepakt door een consortium van organisaties als ASML, DOC, TNO, TU Delft, ARCNL, UvA, UT, VU, DEMCON, VDL, SettelsSavenije, Sioux, VSL.

#### **5.2.5 Fotonica voor Milieu- en klimaatmonitoring en energie**

##### **Ambitie**

Nederland heeft een aanzienlijke ervaring in de ontwikkeling en realisatie van aardobservatie-instrumenten (TNO, ADS NL, SRON) en de bijbehorende klimaatwetenschap (KNMI, SRON, TNO). Het recent gelanceerde Nederlandse TROPOMI-instrument met de bijbehorende atmosferische chemiemodellen wordt momenteel gezien als de beste ter wereld. Deze PPS heeft de ambitie om depositie voor Nederland op het gebied van instrumenten en wetenschap voor klimaatmonitoring te behouden en uit te breiden naar wereldwijde commercialisering van kleine instrumenten en gerelateerde datadiensten. Dit vraagt investeren in kennis, technologieën en faciliteiten.

##### **Inhoud**

De R&D-agenda van deze PPS heeft drie aandachtsgebieden:

##### **Volgende generatie van afbeeldende instrumenten**

Nederland heeft geavanceerde instrumenten ontwikkeld voor teledetectie toepassingen met behulp van hyper-spectrale en multispectrale beeldvorming spectrometers voor satelliet remote sensing in bijvoorbeeld landbouw en luchtkwaliteit. Instrumenten van de volgende generatie zullen zich richten op nieuwe soorten metingen (bijvoorbeeld infrarood, nieuwe vervuilingsgassen) en verhoogde nauwkeurigheid, aangedreven door de behoeften van de overheid en de industrie in bijvoorbeeld monitoring van luchtkwaliteit, biodiversiteit, landbouw. Dit vereist een grote vooruitgang in de instrumentcapaciteiten die zal worden bereikt door de introductie van speciale optische componenten, materialen, processen en productietechnieken.

##### **Gegevensgebruik**

De waarde van aardobservatie-instrumenten wordt ontsloten door deze om te zetten in dataproducten die kunnen worden vertaald in diensten die worden aangeboden aan de overheid, industrieën en ngo's. Voor gebruik in de landbouw, bewaking van luchtkwaliteit, broeikasgassen monitoring, landbouw en geo-informatie. Dit is een zich snel ontwikkelende markt die proceskennis vereist in modellen, data science ('big data') van universiteiten en instituten met software en applicaties die dit op commerciële basis aan eindgebruikers kunnen leveren.

##### **Infrastructuur**

Met betrekking tot infrastructuur is het doel om een gemakkelijk toegankelijke one-stop-shop voor satellieten en diensten tot stand te brengen. Dit geldt in het bijzonder voor het commerciële ruimtesegment, dat internationaal een steeds groeiende markt is. Deze markt is aantrekkelijk voor Nederlandse industrieën, bijvoorbeeld met betrekking tot kleine satelliet-instrumenten en gegevensproducten.



Het gaat hier om één plaats waar wetenschappers, ingenieurs en technici samenkomen om nieuwe technieken voor ontwerp en fabricage te ontwikkelen. Deze samenwerkingen leiden tot een aantal geïnstalleerde ruimtes voor de productie, assemblage, tests en kalibratie van instrumenten die ontwikkeling van prototypen en vluchthardware op één locatie in één uitgebreid proces mogelijk maken (vergelijkbaar met een proces in de productielijn).

#### Betrokken partijen

Airbus, TNO, TU Delft (DOC en DSI), RUL, VU, SRON, ADSNL, Cosine, NSO, Hyperion, ISIS.

### 5.2.6 Fotonica voor Agrifood

#### Ambitie

De ambitie van de PPS Fotonica voor Agrifood is impact te genereren en concrete fotonische toepassingen te ontwikkelen voor applicaties in de volledige voedselketen.

Het gaat daarbij om applicaties voor:

- sensing voor verhogen van de kwaliteit tijdens de groei van het gewas (van zaad tot product);
- sensing voor kwaliteitssortering van producten na de oogst;
- sensing voor voedselveiligheid in verwerkte producten in de rest van de keten;
- nieuwe agrarische verdienmodellen: stadslandbouw, computational farming, algenkweek in fotobioreactoren, en zonnecellen op agrarische daken.

De PPS richt zich op sensor ontwikkelaars, machinebouwers, agrarische en horticulture eindgebruikers, onderzoekers, start-ups, spin-offs, kennismakelaars, kennisinstellingen, beleidsmakers en investeerders. De positie van Nederland als proeftuin voor fotonica-innovaties wordt hiertoe uitgebouwd door een op te zetten Agrifood Photonics Hub: een hightech infrastructuur in de agrifood.

#### Inhoud

De R&D-agenda van de PPS zet in op een veelheid van technologieën: spectroscopie, (high contrast) imaging, multispectral en hyperspectral imaging, photonics system design,

hoge snelheid/hoge gevoeligheid fluorescentie sensoren in combinatie met LED aanstralers, hoge snelheid sensoren en imaging systems voor voedselkwaliteit sorteringssystemen, lichtgewicht kwalitatief nieuwe sensoren voor drones en machines in agrarische applicaties.

Tevens richt de PPS zich op verkennen van nieuwe toepassingen van sensoren zoals terahertz imaging, thermal imaging, microwave imaging, ground penetrating radar, (sun induced) chlorophyll fluorescence, en LED technologie voor plantenverlichting en/of imaging applicaties.

De hub is zowel een fysieke locatie op de Wageningen University & Research campus als een onderzoeksplatform. Technologiebedrijven kunnen hier samen met de domeinexperts binnen de agrifood nieuwe fotonica ontwikkelen en valideren. Vanuit de hub vinden activiteiten plaats zoals PPS projecten, open calls voor fonicavraagstukken uit de industrie, innovatie-experimenten/hackatons, testen van nieuwe technologie in agrifood applicaties, werken aan standaarden voor sensoren in automatiseringssystemen (cloud), summer schools en op maat gemaakte trainingen.

De hub kan ook fungeren als proeftuin voor revolutionaire cross-over innovaties, waarin bijvoorbeeld lokale landbouw gecombineerd wordt met gepersonaliseerde diëten voor medische voedingstherapie. Hiervoor kan een labfaciliteit in Noordoost-Nederland gebouwd worden voor ontwikkeling, assemblage, prototypen en pre-industriële testsystemen.

#### Betrokken partijen

4TU, Wageningen Research, Rikilt, DOC, TNO, TU Delft, Ocean Optics, Avantes, Fluxology, Spectra Partners, Cosine, DVC, Stemmer, Teledyne Dalsa, Universiteit Twente, Weijland, met mogelijk deelname van Meyer-Burger, Fraunhofer-ISE & ECN, Zernike Institute RUG, HyET, Beyer en DSM.



Optimalisatie van verlichting van gewassen (WUR)

### 5.2.7 Dutch Optics Centre

#### Ambitie

Dutch Optics Centre (DOC) is een consortium van kennisinstututen en meer dan 150 hightech-bedrijven vanuit heel Nederland. Het initiatief van TNO en TU Delft realiseert door samenwerking in applicatiegerichte R&D en het vormen van productconsortia, een sterk Nederlands fotonisch ecosysteem. DOC ontwikkelt enabling fotonische technologieën voor allerlei markttoepassingen. Daarbij ligt extra nadruk op de technologieplatformen metrologie, spectroscopie en afbeelding (imaging). Deze worden, afhankelijk van de toepassing, aangevuld met optomechanica en andere optische technologieën. Door het brede werkveld zijn R&D competenties en faciliteiten nodig in een breed golflengte gebied: van x-rays voor lithografie voor de fabricage van IC's, tot infrarood voor spectroscopie ten behoeve van diagnostiek via ademanalyse en voor het monitoren van gewassen.

#### Inhoud

Belangrijke aandrijver van het onderzoek en de ontwikkeling zijn extreme eisen voor resolutie, gevoeligheid en snelheid, gecombineerd met miniaturisatie en kostenverlaging. Unieke nieuwe instrument-concepten worden mogelijk door toepassing van nieuwe technieken en componenten. Momenteel loopt een aanvraag voor een breed researchprogramma genaamd Synoptics bij het TTW-Perspectief programma, met enthousiaste steun vanuit de industrie.

*Optische metrologie* is essentieel voor het monitoren van industriële productieprocessen. Voor de maakindustrie moet in het kader van Smart Industry 100% foutloos geproduceerd worden. Onderliggende technologieën zijn (witlicht-) interferometrie voor het meten van vorm en vervorming, 3D-imaging voor inspectie, fasegevoelige detectie en fibersensoren.



Draagconstructie voor spiegelsegmenten voor de Europese Extreme Large Telescope (E-ELT; VDL, TNO, NOVA, ESO)

Via **Spectroscopie** wordt de samenstelling van materialen en levende materie onderzocht, bijvoorbeeld metingen aan broeikasgassen vanuit de ruimte en spectroscopisch afbeelden van de huid voor de detectie van kanker. Technologieën: multispectral imaging, Raman spectroscopie voor het herkennen van molecuulstructuren, LIBS spectroscopie voor het herkennen van chemische elementen en op frequentiekammen gebaseerde zeer nauwkeurige spectroscopie.

**Afbeelding (imaging)** is een breed toegepaste technologie. Bij computational imaging technieken zoals ptychografie wordt het object gereconstrueerd uit meerdere intensiteitsmetingen van door het object verstrooid licht, zonder gebruik van lenzen, en met grotere scherptediepte. Deze technologieplatforms zijn essentieel voor zowel de grote bedrijven als ASML en Philips (Lighting), als het mkb. Om intensieve samenwerking te realiseren en bedrijven toegang te geven tot nieuwe technologie zijn gedeelde faciliteiten nodig, met hoge kwaliteit labs en clean rooms. Recent is een voorstel voor een dergelijke faciliteit, genaamd LINX, gehonoreerd. Toekomstige faciliteiten kunnen onderdelen omvatten zoals een coherente soft x-ray bron onder andere voor metrologie van wafers gemaakt met EUV licht, nieuwe

frequentiekam-lasers en quantum cascade lasers voor hoge resolutie medische imaging, near field optics voor hoge resolutie imaging en metrologie, en vrije-vorm optica productiefaciliteit. Op basis van behoefte vanuit de industrie moet de capaciteit van bestaande unieke faciliteiten vergroot worden. Voor de ondersteuning/operatie van de faciliteiten zijn gespecialiseerde technici nodig. Er zullen netwerkbijeenkomsten en cursussen worden georganiseerd, en een optische specialisatie in de masterstudie, in samenwerking met de Universiteit Jena en de Nederlandse en Duitse industrie (ASML, Philips, Carl Zeiss).

DOC gaat een actieve en coördinerende rol spelen in de zes toepassingsgerichte investeringsinitiatieven en zal daarbij een brugfunctie vervullen, bijvoorbeeld bij de cross-over van technologie tussen verschillende toepassingsgebieden en gemeenschappelijk gebruik van faciliteiten.

#### Betrokken partijen

De betrokken partijen zijn meer dan 150 nationale, en ook internationale kennisinstituten, bedrijven, overheden en investeerders.

### 5.2.8 PhotonDelta

#### Ambitie

De ambitie van PPS PhotonDelta is om Nederland als wereldleider op het gebied van geïntegreerde fotonica verder en snel te versterken.

Geïntegreerde fotonica is een enabling technologie voor tal van toepassingen die vanwege schaal, kosten en omvang verschillende fotonische functies in één enkele chip willen brengen. Nederland beschikt met betrekking tot geïntegreerde fotonica over een unieke kennisvoorsprong die economisch gezien veel kansen biedt. Om deze kansen maximaal te benutten, is het van groot belang dat overheden, industrie en onderzoeksinstituten intensief samenwerken door samen te investeren in ontwikkeling van technologie en jonge ketenpartijen in PhotonDelta, het nationale industrieel gedreven geïntegreerde fotonica-ecosysteem.

#### Inhoud

Het R&D-programma en roadmaps van de PPS PhotonDelta richten zich op de volgende generatie technologie, materialen, circuits en systemen die nodig zijn om nieuwe applicaties te kunnen ontwikkelen. Voorts zijn specifieke programma's noodzakelijk om de apparatuur in de keten, van design naar productie tot assemblage, geschikt te maken voor schaalbare productie. In het investeringsplan zijn specifieke acties en investeringen benoemd op vier pijlers:

- Pijler 1: in de waardeketen om deze binnen twee jaar compleet en professioneel als nationaal platform te kunnen inzetten;
- Pijler 2: in industrie-gedreven R&D programma's en roadmaps om de volgende generatie technologie, systemen en circuits te kunnen maken;
- Pijler 3: in infrastructuur en expertise om de industrie gedreven programma's te faciliteren;
- Pijler 4: het ecosysteem uitbreiden met nieuwe start-ups en binnen bestaande ondernemingen door intensieve samenwerking met bedrijven en instellingen die toegang hebben tot de veelbelovende domeinen waar geïntegreerde fotonica zal worden gebruikt. Dit biedt tevens

mogelijkheden voor valorisatie nieuwe kennis. Het is met name in deze pijler waar de betekenis van de Nationale Agenda Fotonica voor PhotonDelta niet is te onderschatten.

#### Betrokken partijen

##### Apparatuur

Partijen uit de equipment industrie en maakbedrijven, waaronder Aixtron, DEMCON, SmartPhotonics, PhiX, ASML, Ficontech en Boschman.

##### Applicaties

Partijen die oplossingen bieden in specifieke markten, waaronder Prodrive Technologies (automotive), EffectPhotonics, LioniX International (data/telecom), Technobis (AeroNautics), Microsoft (datacenters), Cisco, Nokia (telecom), PhotonX, Genexis, Vtec, Signify.

##### Onderzoek

TU Eindhoven, Universiteit Twente, TU Delft, TNO, Radboud Universiteit Nijmegen.

### 5.2.9 Acties om de investeringsinitiatieven tot een succes te maken

Om de investeringsinitiatieven tot een succes te maken zijn de onderstaande acties voorzien.

#### Acties

- Zoveel mogelijk bestaande initiatieven op het gebied van fotonica worden bij de uitvoering van de Nationale Agenda Fotonica betrokken.
- Nieuwe PPS-initiatieven, waaronder de hierboven beschreven investeringsinitiatieven, worden uitgewerkt voor oktober 2018.
- Daar waar mogelijk en zinvol zullen applicatielabs worden opgericht of ingesteld om de fysieke samenwerking tussen fotonica-experts en toepassingsdomeinen te bevorderen.

#### Wie

Trekkers van PPS-initiatieven

### 5.3 KENNISROADMAPS

De kennisontwikkeling op het gebied van fotonica wordt in Nederland gedragen door een brede reeks van bedrijven en kennisinstellingen zoals beschreven in hoofdstuk 3. De meest relevante Nederlandse kennisagenda's voor fotonica zijn Kennis- en Innovatieagenda (KIA), Topsectoren roadmaps en de Nationale Wetenschapsagenda (NWA). Deze agenda's verbinden sectorale agenda's van de topsectoren, departementale agenda's, de Nationale Wetenschapsagenda en Horizon 2020 en iedereen die geïnteresseerd is in de wetenschap.

In het kader van deze Nationale Agenda Fotonica wordt ingezet op een betere verbinding van de Photonics Roadmap, update 2018, met andere roadmaps. Hierbij wordt de aandacht gericht op de toepassingsgebieden (medisch, agrifood, semicon etc.). De doelstelling is dat de PPS-initiatieven projecten signaleren en uitwerken voor fotonica-ontwikkeling in de toepassingsgebieden, projecten die een brug slaan tussen de fotonica roadmap en een toepassingsgerichte roadmap. Een voorbeeld hiervan is Fotonica voor Smart Industry, dat zowel terugkomt in de Smart Industry Roadmap 2018 als de Photonics Roadmap.

#### Actie

De PPS-initiatieven (onder andere uit paragraaf 5.2) gaan concrete R&D projecten signaleren en ontwikkelen voor fotonica-ontwikkeling in de toepassingsgebieden, zodat de valorisatie van fotonica wordt versterkt.

#### Wie

Trekkers van PPS-initiatieven

#### Actie

Photonics IPP-subsidie: een speciale call voor voorstellen wordt voorgesteld, gericht op fotonica om de samenwerking tussen universiteiten, kennisinstellingen en het bedrijfsleven te versterken. Speciale aandacht moet worden geschonken aan samenwerkingen met het mkb (vermindering van de bijdrage in geld van het mkb).

#### Wie

NWO

### 5.4 SKILLS EN EDUCATIE

Nederlandse bedrijven en instituten staan bekend om het hoge kennisniveau. In een groot deel van de Nederlandse fonicabedrijven werkt meer dan de helft van het aantal werknemers in R&D. De clusters geven aan dat er een schaarste aan goed gekwalificeerd personeel is.

Om deze schaarste op te lossen, overdracht en toepassing te verbeteren en werkgelegenheid hier te houden zijn drie hoofdlijnen van belang:

#### A) Beter onderwijs

Basiskennis over klassieke optica moet in het standaard opleidingspakket van engineers en wetenschappers opgenomen worden – dit verkort de inwerktijd. Door te investeren in betere opleidingen (zowel mbo, hbo als wo) wordt het kennisniveau ook naar de toekomst toe geborgd. Tenslotte kunnen de opleidingen fotonica en optica versterkt worden met bijvoorbeeld bedrijfsscholen voor het semicon-, nano-, bio- en ruimtevaartfonicadomein.

#### B) Aantrekken personeel

Nederland heeft een aantrekkelijk woonklimaat. Het is bekend dat studenten om die reden vaak in hun studentenstad blijven plakken. Dit aantrekkelijke klimaat kan gebruikt worden om nieuw personeel aan te trekken. Een fotonica-incubator kan bovendien extra internationale studenten aantrekken. Tenslotte moet foto-

nica buiten de fonicamarkt bekend gemaakt worden en zo personeel aantrekken uit andere sectoren.

#### C) Uitwisseling van kennis tussen bedrijven en instituten

Uitwisseling van kennis tussen kennisinstellingen en Nederlandse bedrijven moet worden versterkt. Dat kan bijvoorbeeld door een "uitruil regeling met universiteiten/bedrijven en gastcolleges", maar ook door langdurige samenwerking van bedrijven en kennisinstellingen in (onderzoeks)projecten te stimuleren. Daarmee kan kennis, die ontwikkeld is en wordt aan de kennisinstellingen, naar de bedrijven vloeien. Stimuleren kan bijvoorbeeld door een subsidiecall voor onderzoeksprojecten rondom fotonica, maar ook door subsidie om bestaande fundamentele fonicakennis te laten landen/toepassen in bedrijven. Door langdurige samenwerking te stimuleren kan stabiele en continue kennisuitwisseling tot stand komen.

#### Actie

Vanuit PhotonicsNL zal worden bijgedragen aan de awareness-campagne voor het 'werken in de fotonica'.

#### Wie

PhotonicsNL

#### Actie

PPS-initiatieven gaan acties met betrekking tot skills opzetten in samenwerking met de Human Capital Agenda van HTSM. Denk hierbij aan het opzetten van onderwijsmodules of skills-labs gekoppeld aan de bovengenoemde applicatielabs fotonica. Hiermee wordt tevens de kennisuitwisseling tussen bedrijven en instituten versterkt.

#### Wie

PPS-initiatieven

#### Actie

Er zal worden ingezet op versterking van de samenwerking en verbinding tussen onderwijs en de benodigde kennis voor de markt. Bijvoorbeeld door het introduceren van een stage van drie maanden voor PhD-projecten bij een van de Nederlandse bedrijven om de toekomstige wetenschappers en ingenieurs voor te bereiden op het werken in een bedrijf.

#### Wie

NWO



## 6 / RANDVOORWAARDEN

**De doelstelling van de Nationale Agenda Fotonica is om de toepassing van fotonicatechnologieën voor het oplossen van maatschappelijke uitdagingen en het creëren van nieuwe bedrijvigheid te intensiveren en te versnellen. In de voorgaande hoofdstukken hebben we gezien dat er voor Nederland evidente kansen liggen op de snel groeiende markt van fotonica waarin Nederland sterk is gepositioneerd.**

Fotonica-innovaties kunnen een cruciale asset vormen in de toekomstige economische en maatschappelijke vernieuwing van Nederland. Voor een succesvolle positionering op de Europese en wereldwijde markt is het noodzakelijk om Nederland te positioneren als één coherente fotonische regio. Dit vraagt om één agenda, een kapstok voor de fotonica-initiatieven in Nederland. Door in te zetten op clusters, waarin nieuwe fotonica-ontwikkeling wordt gekoppeld aan concrete toepassingsdomeinen, kan deze samenhang worden gerealiseerd en kan het veld gericht in een versnelling worden gebracht. Er zijn inmiddels substantiële en toonaangevende initiatieven opgestart en nieuwe consortia staan in de startblokken om deze agenda te realiseren. Dit hoofdstuk beschrijft de organisatorische en financiële randvoorwaarden waaraan voldaan moet zijn om deze agenda te realiseren.

### 6.1 ORGANISATIE

Met de Nationale Agenda Fotonica wordt een langjarige beweging op gang gebracht. We zetten in op een achtjarig programma. Er wordt zo veel mogelijk aangesloten bij en gebruik gemaakt van bestaande structuren en organisaties. Fotonica heeft reeds een bestaande roadmap binnen de topsector HTSM en er zal aansluiting worden gezocht bij de Human Capital Agenda.

PhotonicsNL, het Nederlandse netwerk van alle bedrijven en kennisinstellingen die actief zijn op het gebied van fotonica, is goed gepositioneerd om de netwerkactiviteiten van deze agenda verder vorm te geven. Met name:

- communicatie en awareness, waar mogelijk in samenwerking met andere netwerken in Nederland en Europa;
- ondersteuning PPS-trekkers, voor het versterken van de verbinding met toepassingsgebieden en maatschappelijke uitdagingen en de verbinding naar andere topsectoren.

PPS initiatieven en applicatiecentra:

- opereren zelfstandig en dragen eigen verantwoordelijkheid voor resultaat en uitvoering;
- dragen bij aan uitvoering van de agenda met betrekking tot awareness, R&D, ontwikkelprojecten, kennis en skills.

In de komende maanden zal een gezamenlijk aanpak, om de Nationale Agenda Fotonica tot een succes te maken, in overleg met betrokken partijen verder worden uitgewerkt.

### 6.2 FINANCIËN

#### Financiering

De uitvoering van deze agenda begint met het commitment en initiatief van de clusters en de daarin samenwerkende kennisinstellingen en bedrijven. De fotonicaclusters in deze agenda rekenen daarbij op ondersteuning door nationale, regionale en internationale overheden, waarbij een beroep zal worden gedaan op diverse financiële instrumenten, zowel nationaal, regionaal als Europese middelen.

*Foto links: Basishoekmeetsysteem waarmee de stabiliteit van de ruimtetelescopen van de GAIA-missie bepaald wordt (ESA)*

Voor de nieuwe investeringsinitiatieven in het kader van de Nationale Agenda Fotonica is -naast het inmiddels geformuleerde programma van de PPS PhotonDelta- een investeringsbedrag voorzien van ordegrrootte 30 miljoen euro per jaar, waaronder 5 miljoen euro per jaar aan private investeringen. Voor de diverse publiek- private samenwerkingsinitiatieven vanuit deze clusters zal een eerste ruwe begroting worden opgesteld.

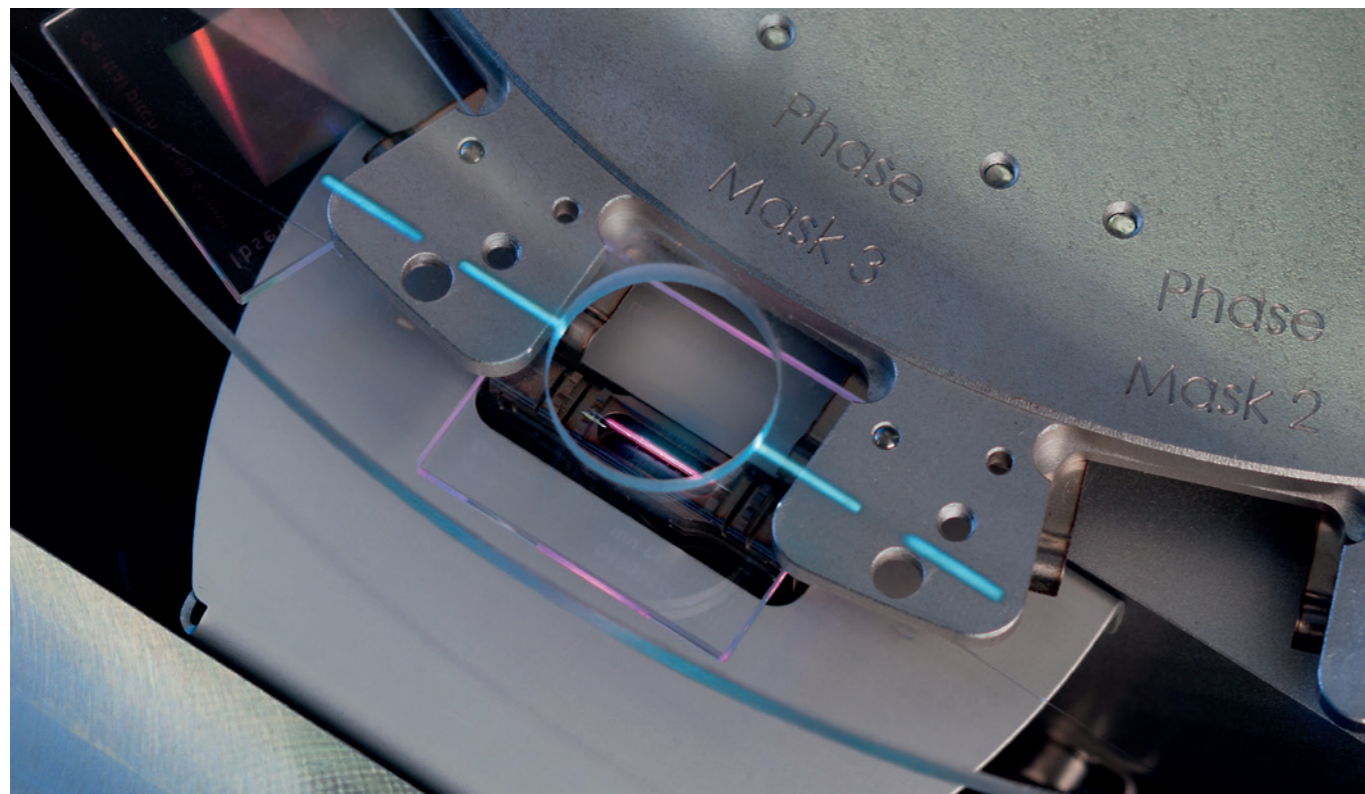
Bij PPS onderzoeksprojecten waarbij een TU of een TO2-instelling is betrokken zal aanspraak worden gemaakt op de PPS-regeling waarbij 30% subsidie mogelijk is op grond van de private cash bijdrage.

De PPS-initiatieven zullen in dialoog met de TO2-instellingen de mogelijkheden onderzoeken van programmering van middelen uit de Regio Envelop voor intensivering van toegepast onderzoek.

De PPS-initiatieven zullen voor oktober 2018 aansluiting zoeken bij de Regio Deals.

Voor omvangrijke PPS-initiatieven zal worden gepoogd meerjarige afspraken te maken met financieringspartners zoals RVO en InvestNL om het volledige subsidie- en financierings-instrumentarium in te zetten over de hele keten van onderzoek, ontwikkeling en marktintroductie. Hierbij moet onder meer worden gedacht aan het Innovatiekrediet, de SBIR regeling, de Seed Capital Regeling en Borgstelling MKB Kredieten (BMKB).

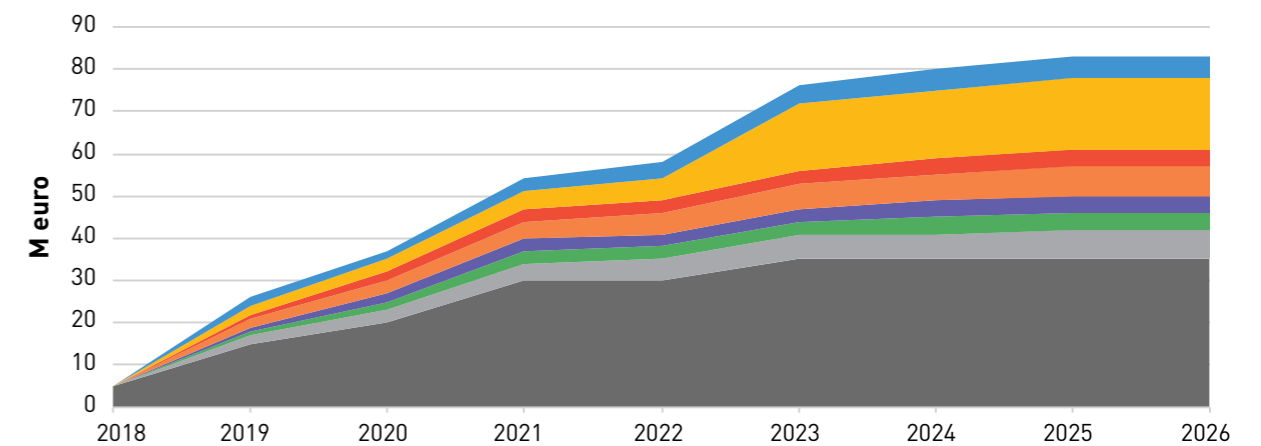
Hoewel er geen specifieke NWA-routes zijn gewijd aan fotonica (zie 3.4) zijn er binnen de routes Energietransitie, 'Duurzame productie van gezond en veilig voedsel', 'Gezondheidszorgonderzoek, preventie en behandeling', 'Personalised medicine: uitgaan van het individu' en 'Smart Industry' duidelijk aanknopingspunten voor samenwerking met de fotonica-clusters Energie, Agrifood, Gezondheid en Maakindustrie. De NWO calls voor deze routes zullen nauwlettend worden gevolgd.



Lasersysteem waarmee sensoren in glasvezel gebrand kunnen worden (SOMNI)

FIGUUR 9

### Globale financiering Nationale Agenda Fotonica, initieel gecommiteerd en beoogd



- PhotonDelta (initieel gecommiteerd)
- Fotonica voor Agrifood (beoogd)
- Fotonica voor Semicon (beoogd)
- Fotonica voor de Maakindustrie (beoogd)
- Dutch Optic Centre (beoogd)
- Fotonica voor Milieu- en klimaatmonitoring en energie (beoogd)
- Photonics for Safe & massive data communication (beoogd)
- Photonics Technology for Health Centre (beoogd)

Voor grensoverschrijdende samenwerkingsinitiatieven binnen de EU zal het INTERREG-programma actief worden benut. Calls uit Horizon2020 en het volgende kaderprogramma Horizon Europe waarin fotonica opnieuw als key enabling technology is gepositioneerd zullen eveneens financieringsmogelijkheden bieden.

Voor de investeringsinitiatieven in het kader van de Nationale Agenda Fotonica is een totaal investeringsbedrag voorzien van ordegrrootte 60 miljoen euro per jaar, dat deels publiek en deels privaat zal worden gefinancierd (Figuur 9). Dit als versterking van de honderden miljoenen die nu reeds in fotonica door de markt worden geïnvesteerd.

# 7 / BIJLAGEN

## 7.1 LIJST VAN BIJ ONTWIKKELING VAN DE AGENDA BETROKKEN PERSONEN EN ORGANISATIES

### Stuurgroep

Arnold Stokking (voorzitter stuurgroep; TNO/DOC), Luuk Klomp (EZK), Benno Oderkerk (PhotonicsNL), René Penning de Vries (PhotonDelta).

### Kernteam

Erik Ham (DOC/TNO), Bart Sniijders (DOC/TNO), Ruud Baartmans (TNO), Babette Bakker (TNO), Tom van der Horst (TNO), Ron van der Kolk (PhotonicsNL), Anke Peters (DOC/TU Delft), Maarten van Reizen (TNO), Richard Roemers (EZK), Ewit Roos (PhotonDelta), Eddy Schipper (RVO), Maria Sovago (NWO).

### Betrokken experts

Arjen Amelink (TNO), Luc Augustin (SMART Photonics), Edwin Beckers (DEMCON), Johannes de Boer (VU Universiteit), Jan Boers (Dino-Lite digital microscopes), Joline Brouwer (OostNL), Maurits Butter (TNO), Gerard Cornet (SRON), Andy Court (TNO), Klaas Jan Damstra (Grassvalley), Paul van Dijk (LioniX International), Gerard van den Eijkel (DEMCON), Hein Otto Folkerts (ASML), Sonia M. García-Blanco (MESA+, Universiteit Twente), Ludo Geraets (Nedinsco B.V.), Steven Goetstouwers (Admesy B.V.), Roger Groves (TU Delft), Marc Hak (Dino-Lite Europe), Frans Harren (Radboud Universiteit), Marinus van der Hoek (VanderHoekPhotonics), Mark Jacobs (Optics11), Sytze Kampen (ADSNL), Ton Koonen (TU Eindhoven), Dick Koster (NWO), Eric de Leeuw (Diamond Kimberlit B.V.), Zhaohan Liu (VTEC Lasers & Sensors), Ben Lubberman (SUMIPRO b.v.), Hans Michels (Sioux Group B.V.), Jan Mink (VTEC Lasers & Sensors), Ramon Navarro (ASTRON), Remco Nieuwland (Somni Corporation B.V.), Benno Oderkerk (CEO Avantes en bestuursvoorzitter PhotonicsNL), Michiel Oderwald (TNO), Barry Peet (BCSEMI NL), Callie Peters (Weijland Technologies B.V.), Marc Peters (Solar Application Lab B.V. en Weijland Technologies B.V.), Paul Peters (Fluxology), Gerrit Polder (Wageningen University & Research), Oded Raz (TU Delft), Gert-willem Römer (Universiteit Twente), Eddy Schipper (RVO), Meint Smit (TU Eindhoven), Maria Sovago (NWO), Marcel Tichem (TU Delft), Niel Truyens (TNO), Paul Urbach (DOC/TU Delft), Michel Verhaegen (TU Delft), Maarten Voncken (ASML), Hugo Vos (DEMCON), Stefan Witte (ARCNL), Ben van der Zon (ASM Pacific Technologies en High Tech NL).

### Colofon

Vormgeving: Raymakers Ontwerp, Inge Raymakers

Druk: Peters Publiciteit, Jos Peters

Fotografie: Verse Beeldwaren (cover), Fred Kamphues (p2), Kasper van 't Hoff (p7),

Bart van Overbeeke Fotografie (p10), Ivar Pel Fotografie (p16), Lamberts Instruments, Avantes (p17)

Philips, TNO, Tocano (p18), D.J. IJlst (p22), Propeaq (p26), Eric de Vries (p27),

Bart van Overbeeke Fotografie (p29), TNO (p32), TNO (p35), Wageningen University & Research (p36),

TU Delft (p37), LioniX International (p43), Wageningen University & Research (p46), TNO (p48),

Fred Kamphues (p52), Arjan Brand (p54).

