FASCINATING PHOTONICS

Fotonica voor een duurzame toekomst

Intreerede 8 juni 2022
Steven van den Berg
Lector Fotonica
De Haagse Hogeschool

let's change
YOU. US. THE WORLD.

DE HAAGSE
HOGESCHOOL

Colofon

Tekst: Steven van den Berg
Illustraties/afbeeldingen: Steven van den Berg en collectie lectoraat, tenzij anders vermeld
Foto's intreerede: Quintin van der Blonk
Vormgeving: DeskHopping DTP

www.dehaagsehogeschool.nl/onderzoek/lectoraten/fotonica
s.a.vandenberg@hhs.nl

Photonics Research Group

Lectoraat Fotonica

De missie van het lectoraat Fotonica is om een bijdrage te leveren aan een gezonde wereld en een duurzame economie door het toepasbaar maken van fotonicatechnologie in de praktijk. Ook draagt het lectoraat bij aan het opleiden van professionals op het gebied van fotonica, wat een voorwaarde is om de ambities van deze groeisector waar te kunnen maken.

Het fotonica-onderzoek richt zich op de toepassingsgebieden Hightech Industrie, Agri & Food, Energie & Klimaat, Gezondheid en Mobiliteit. Digitale technologie speelt in de ontwikkeling van deze gebieden een grote rol, waarbij fotonica op grote schaal wordt ingezet voor het verkrijgen van digitale data. Sleutelwoorden voor het onderzoek zijn spectroscopie, metrologie en afbeelding. Het toepassen van optische sensoren, zoals spectrometers of glasvezel-gebaseerde sensoren, speelt hierbij een centrale rol. De lijfspreuk van de natuurkundige Heike Kamerlingh Onnes ‘door meten tot weten’, aangevuld met ‘door weten tot handelen’, is dan ook een leidraad voor het lectoraat.

Inhoudsopgave

Voorwoord	**7**
Welkom	**9**
Inleiding	**10**
De start van het fotonicatijdperk	**13**
Fotonica als sleuteltechnologie	**18**
Fotonica voor agri & food	**19**
Structural health monitoring	**27**
Metrology toolkit	**30**
Het belang van kalibratie en meetonzekerheid	**33**
Onderzoek en onderwijs	**35**
Afsluiting	**36**
Dankwoord	**39**
Referenties	**41**

Voorwoord

Dit boekje is een vrijwel woordelijke weergave van de intreerede 'Fascinating Photonics' die ik op 8 juni 2022 heb uitgesproken. Waar nodig voor de leesbaarheid heb ik de tekst aangepast. Dit betreft vooral de verwijzing naar figuren die in de presentatie van de intreerede waren opgenomen. Dit boekje en de opgenomen video van de intreerede zijn terug te vinden op de website van het lectoraat Fotonica.

Steven van den Berg
Lector Fotonica
De Haagse Hogeschool


Library
Innovation Playground
verkiezingen 2022
Check je bier!
Laat Robotica voor je werken!
Disassembly Station

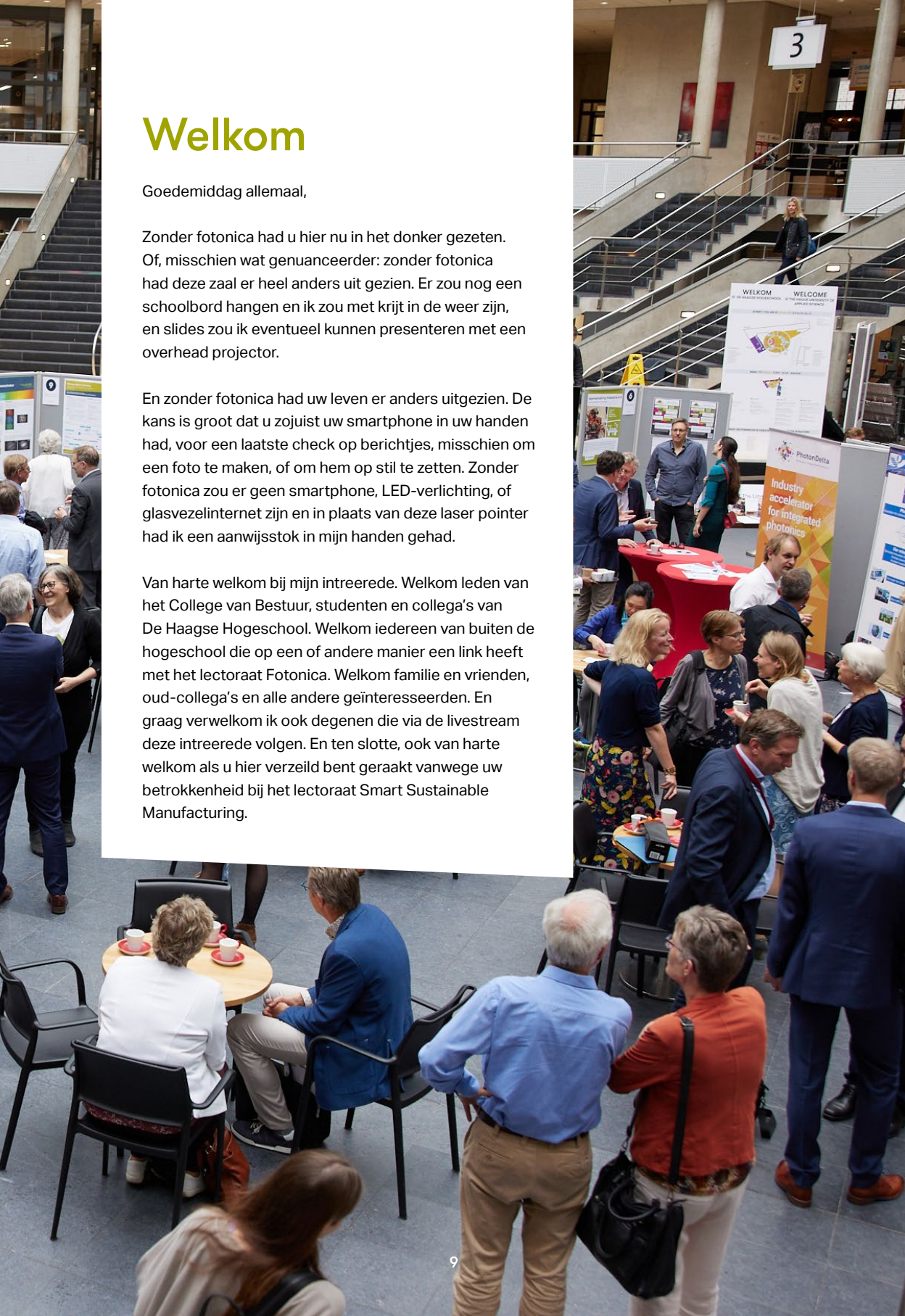
Welkom

Goedemiddag allemaal,

Zonder fotonica had u hier nu in het donker gezeten. Of, misschien wat genuanceerder: zonder fotonica had deze zaal er heel anders uit gezien. Er zou nog een schoolbord hangen en ik zou met krijt in de weer zijn, en slides zou ik eventueel kunnen presenteren met een overhead projector.

En zonder fotonica had uw leven er anders uitgezien. De kans is groot dat u zojuist uw smartphone in uw handen had, voor een laatste check op berichtjes, misschien om een foto te maken, of om hem op stil te zetten. Zonder fotonica zou er geen smartphone, LED-verlichting, of glasvezelinternet zijn en in plaats van deze laser pointer had ik een aanwijsstok in mijn handen gehad.

Van harte welkom bij mijn intreerede. Welkom leden van het College van Bestuur, studenten en collega's van De Haagse Hogeschool. Welkom iedereen van buiten de hogeschool die op een of andere manier een link heeft met het lectoraat Fotonica. Welkom familie en vrienden, oud-collega's en alle andere geïnteresseerden. En graag verwelkom ik ook degenen die via de livestream deze intreerede volgen. En ten slotte, ook van harte welkom als u hier verzeild bent geraakt vanwege uw betrokkenheid bij het lectoraat Smart Sustainable Manufacturing.



Inleiding

De komende drie kwartier neem ik u graag mee in de fascinerende wereld van de fotonica. Ik hoop u een inkijkje te kunnen geven in deze wereld en te illustreren waarom fotonica ook wel de elektronica van de 21ste eeuw wordt genoemd. Ik zal schetsen wat belangrijke technologische ontwikkelingen zijn en welke toepassingsgebieden daar bij horen. En ik zal beschrijven waar het zwaartepunt van de Fotonica-onderzoeksgroep van De Haagse Hogeschool de komende jaren zal liggen en waarom wij hiervoor gekozen hebben. De vraag hoe we fotonica kunnen inzetten voor een duurzame en gezonde wereld is daarbij leidend. De combinatie van de elegantie van de technologie, de mogelijkheid tot visualisatie en de fundamentele en praktische toepassingen die fotonica biedt, vind ik fascinerend. Ik hoop dit vandaag met u te kunnen delen.

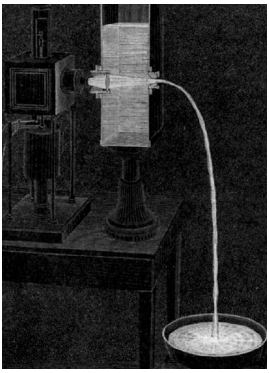
Ik heb zojuist al wat hints gegeven over wat fotonica zoal omvat, maar ik ben mij er ook van bewust dat het begrip fotonica nog niet zo ingeburgerd is als het woord elektronica. Dus waar hebben we het over? Wat is fotonica nu eigenlijk? Fotonica is de technologie die zich richt op het opwekken, transporteren, manipuleren en detecteren van licht.

‘ Fotonica is de technologie die zich richt op het opwekken, transporteren, manipuleren en detecteren van licht. ’

Lichtdeeltjes worden ook wel ‘fotonen’ genoemd en die naam is afgeleid van het Griekse woord *phos* of *photo*, dat licht betekent. Zoals elektronica de technologie rondom het elementaire deeltje elektron is, is fotonica de technologie rondom het elementaire deeltje foton. Opwekken, transporteren, manipuleren en detecteren van licht dus. Ik zal kort van alle vier een voorbeeld geven. Deze worden geïllustreerd in Figuur 1.

Arend041, CC0 (1a)

foto SvdB (1b)



Colladon 1882 (1c)

foto SvdB (1d)

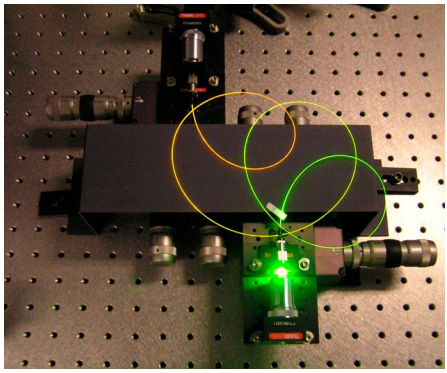
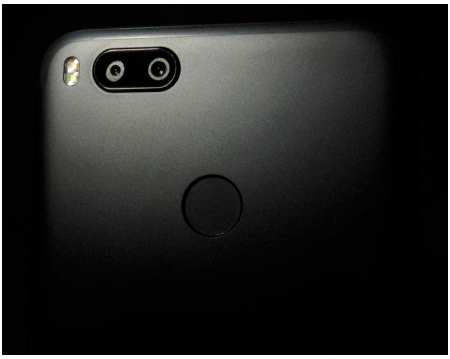


foto SvdB/VSL (1e)



Adeendreniyan, CC BY 2.0 (1f)

Jeremy Levine Design, CC BY 2.0 (1g)

Figuur 1 *Opwekken* van licht met een LED-lamp (1a) en met lasers (1b). *Transport* van licht geïllustreerd met de lichtfontein van Jean-Daniel Colladon[1] uit 1882 (1c); transport van licht door glasvezels is onmisbaar voor moderne telecommunicatie (1d). *Manipulatie* (en transport) van licht in een glasvezel, waarbij door de microstructuur van de glasvezel het infrarode licht uit ultrakorte pulsen wordt omgezet in zichtbaar licht (1e). *Detectie* van licht met een smartphone camera (1f) en met zonnepanelen (1g).

1 Jean-Daniel Colladon (1802-1893). Deze illustratie verscheen in 1884 in het tijdschrift 'La Nature' (Colladon, 1884). Het systeem werd eerder door Colladon beschreven in 1882 in Comptes Rendus (Colladon, 1882). Op de foto (Figuur 1c) is links een lichtbron te zien waarmee een lichtbundel wordt gevormd die in een watertank wordt geschenen. Het water verlaat aan de rechterkant de tank en vormt door de vrije val een parabolische waterstraal. Door interne reflectie van het licht in de waterstraal volgt het licht het water en eindigt met het water in het bakje. Een glasvezel werkt op een vergelijkbare manier.

Ten eerste: *opwekken* van licht. Een voorbeeld is LED-verlichting. De LED (light-emitting diode) bestaat al sinds de jaren 60 (Biard, 1966), maar grootschalige toepassing als verlichting is pas mogelijk sinds de uitvinding van de blauwe LED met voldoende helderheid in de jaren 90 (Nakamura, 1994). Hierdoor werd het mogelijk om wit licht te maken en daarmee een volwaardige vervanger van de gloeilamp. LED-verlichting is ook een mooi voorbeeld van de energiebesparing die fotonica mogelijk maakt: voor dezelfde lichtopbrengst is ongeveer een factor 10 minder elektrisch vermogen nodig in vergelijking tot een gloeilamp (IEA, 2021). De laser is een andere vorm van lichtopwekking, daarover later meer.

Ten tweede: *transport* van licht. Een voor de hand liggend voorbeeld is uiteraard de glasvezel. Datacommunicatie via glasvezel is een van de bekendste toepassingen van fotonica. Daarover heeft u in de presentatie van Mar van der Hoek al veel meer geleerd. Lichttransport door glasvezel is mogelijk door gebruik te maken van materialen met een verschillende brekingsindex. Hierdoor treedt totale interne reflectie op van licht dat zich in het medium bevindt. Een mooi voorbeeld hiervan werd al in 1882 gegeven door Jean-Daniel Colladon, die een lichtfontein maakte door licht door een straal van stromend water te sturen (Colladon, 1882; Colladon, 1884). Het licht eindigt samen met het water in een bakje.
Het werkingsprincipe van een glasvezel is vergelijkbaar en zorgt ervoor dat licht over lange afstanden kan worden getransporteerd. Hiervoor is veel minder energie nodig is dan over de koperen kabels, zoals Mar van der Hoek in de voorgaande lezing al overtuigend heeft laten zien. Ook bij mij in de wijk wordt de glasvezel op dit moment letterlijk uitgerold.

Als voorbeeld van *manipulatie* ziet u een plaatje van een bijzondere glasvezel die licht niet alleen transporteert, maar ook modificeert. Zie de kleurverandering van het licht over deze glasvezel. Ik kom hier aan het eind van deze rede nog even op terug.

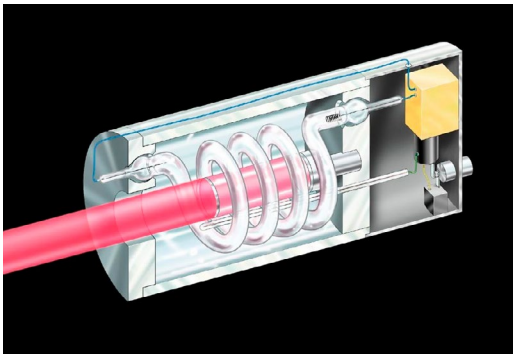
Ten slotte *detectie* van licht. Ook hier kom ik later uitgebreid op terug, maar om vast een voorbeeld te noemen: de camera op uw smartphone is een mooi voorbeeld van een lichtdetector. Maar ook een zonnepaneel zou je een lichtdetector kunnen noemen.

Voorafgaand aan de intreerede gaf Mar van der Hoek een bevlogen gastlezing over fotonica, in het bijzonder over glasvezeltechnologie. Hier demonstreert hij lichtgeleiding door een kunststof staaf, vergelijkbaar met lichtgeleiding door een glasvezel.

De start van het fotonicatijdperk

De uitvinding van de laser door Theodore Maiman in 1960 kan worden beschouwd als het begin van het fotonicatijdperk. Kenmerkend voor een laser is de zuivere kleur van het licht en ook dat het licht meestal in een smalle bundel wordt uitgezonden. De uitvinding is gebaseerd op eerder werk van Albert Einstein, die in 1917 al liet zien dat er een proces is waarbij materie, bijvoorbeeld een atoom, onder invloed van een passerend foton, zelf ook een foton uitzendt (Einstein, 1917; APS News, 2005).
Dit proces wordt gestimuleerde emissie genoemd. Het lawine-effect dat hierdoor kan optreden vormt de basis van de laser. Het woord laser komt van de afkorting Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

Foto Theodore and Kathleen Maiman, CC BY-SA 4.0



Illustratie Lawrence Livermore National Laboratory

Figuur 2 De eerste laser, uitgevonden door Theodore Maiman in 1960. De laser heeft een robijnkristal als versterkend medium (paarse cilinder op de foto). De energie wordt geleverd door een spiraalvormige lamp.

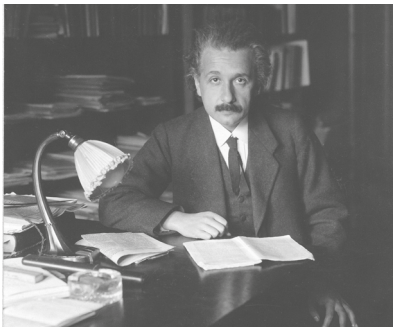
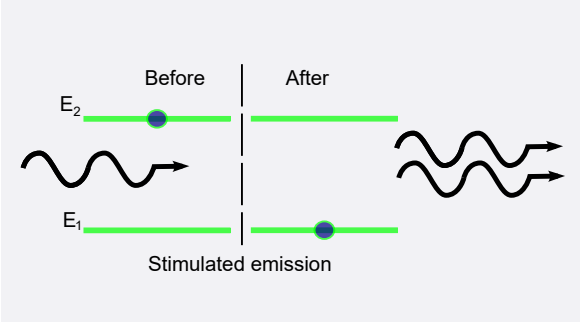
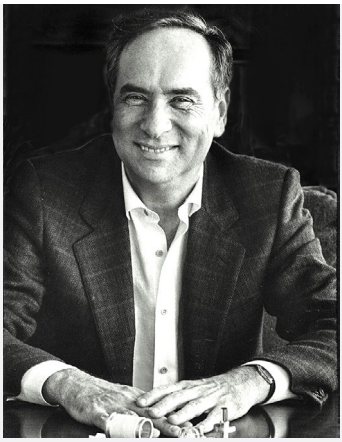


Foto: ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv



Figuur 3 Albert Einstein voorspelde al in 1917 het proces van gestimuleerde emissie. Rechts een schematische weergave hiervan, waarbij een foton (weergegeven als golfje met pijl) een aangeslagen atoom passeert (weergeven als 2-niveau systeem met het blauwe bolletje boven). Het inkomende foton stimuleert het atoom de energie (E_2-E_1) uit te zenden in de vorm van een identiek foton.

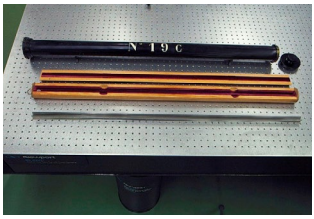


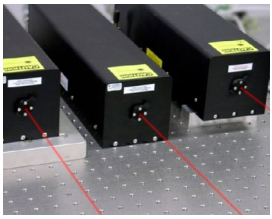
Press photo Los Angeles Reader, 1985
CC BY-SA 4.0

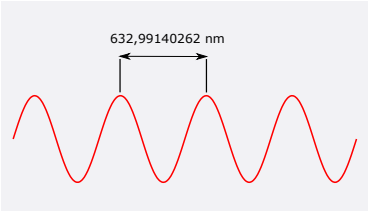
‘A laser is a solution seeking a problem’

Theodore H. Maiman

Maiman zelf schijnt kort na zijn uitvinding gezegd te hebben: “A laser is a solution seeking a problem,” (APS News, 2010). De toepassingen kwamen snel en in groten getale. Zo vormde de laser al snel de basis voor een groot deel van alle lengtemetingen wereldwijd.







Foto’s: VSL

Figuur 4 De nationale lengtestandaard van de meter was vroeger een stoffelijke maat in de vorm van een platina-iridium staaf (links), maar de laser heeft deze rol al sinds decennia overgenomen. De golflengte van het laserlicht fungeert nu als lengtemaat. Door de lasergolflengte af te stemmen op een absorptielijn van jodium kan de golflengte worden gestabiliseerd en wordt een nauwkeurigheid van 11 decimalen behaald.

Omdat een laser een enkele zuivere lichtgolf uitzendt, kan de golflengte hiervan gebruikt worden als lengtemaat. In Figuur 4 ziet u de lasers die door het nationale metrologie-instituut VSL als lengtestandaarden worden gebruikt. Ik heb er zelf jaren mee gewerkt, dus dan weet u waarom ik met dit voorbeeld kom. Sommige mensen hebben nog het beeld van een staaf van een meter die ergens in een kluis ligt in Parijs, maar die wordt al meer dan 60 jaar niet meer gebruikt. Voor meer informatie verwijs ik u graag naar de stand van VSL op de expo, waar u uw lengte kunt laten meten met een laser. Ik waarschuw u vast: de meeste mensen blijken iets kleiner te zijn dan ze zelf denken!

Een ander mooi voorbeeld van de snelle toepassing van lasers, en een met een Nederlands tintje, is de uitvinding van de cd-speler door Philips. De laser waarmee de cd wordt gelezen vormt het hart van de cd-speler.

Figuur 5 Philips presenteert de 1e cd-speler (foto Philips).

Ik noem de laser niet alleen omdat de uitvinding ervan de start is van het fotonicatijdperk. Ik vind de laser ook een van de mooiste voorbeelden van de keten van fundamenteel onderzoek naar toegepast onderzoek tot wereldveranderende toepassingen in de praktijk. Wat begon met een voorspelling van Einstein mondde uit in ontelbare toepassingen. Het illustreert het belang van fundamenteel onderzoek, maar ook het belang om daarna vervolgstappen te zetten naar toepassingen in de praktijk. En dat is iets waar de hele kennisketen van WO, HBO en MBO bij betrokken is. Gelukkig wordt het belang van betrokkenheid van de gehele kennisketen bij onderzoek en ontwikkeling steeds meer onderschreven door onderzoeksfinanciers en is betrokkenheid van het beroepsonderwijs steeds meer een integraal onderdeel van roadmaps en projectvoorstellen. Want het is juist de interactie tussen praktijkgericht onderzoek en onderwijs die ervoor zorgt dat het onderwijs vernieuwt en aansluit bij de laatste ontwikkelingen in het onderzoek én de behoeftes vanuit de praktijk. En voor fotonica is dat niet anders.

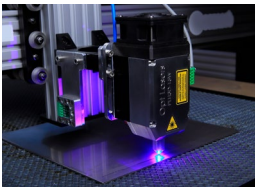
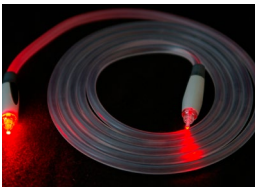
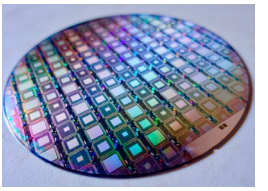


Foto Opt Lasers, Pexels

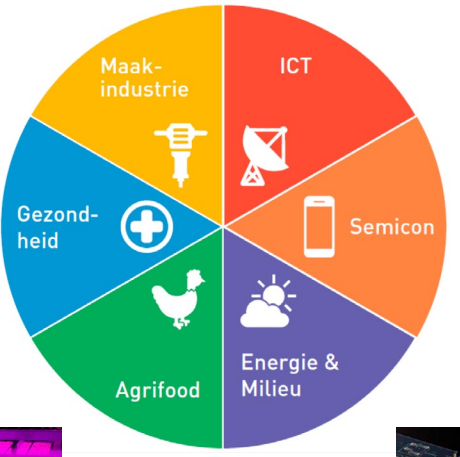


Hustvedt, CC BY-SA 3.0

Y. Khan, CC BY-NC-ND 4.0 (Khan, 2018)



Steve Jurvetson, CC BY 2.0



Nationale agenda Fotonica

Ark Agricultural Experiment Station, CC BY 2.0

ESA/ATG Medialab

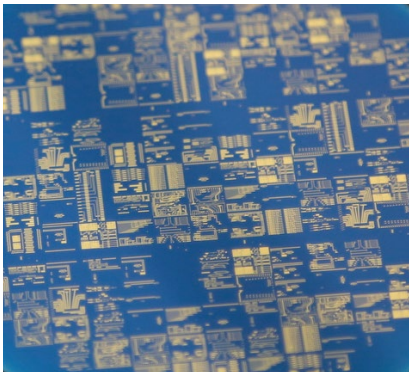
Foto Pixabay, Pexels

Figuur 6 De Nationale agenda Fotonica onderscheidt 6 toepassingsgebieden van fotonica: ICT, Halfgeleiderindustrie, Energie en Milieu, AgriFood, Gezondheid en de Maakindustrie.

Ik zou uren kunnen praten over wat er de afgelopen decennia al is ontwikkeld aan fotonicatechnologie en toepassingen, maar daarvoor ontbreekt nu de tijd. Om toch snel een indruk te geven: Figuur 6 geeft een overzicht van de 6 toepassingsgebieden van fotonica uit de Nationale Agenda Fotonica, variërend van aardobservatie tot telecommunicatie en van agri & food tot de maakindustrie (Nationale Agenda Fotonica, 2018).

Het vakgebied van de fotonica maakt nog steeds een stormachtige ontwikkeling door. Zo is enkele weken geleden bekendgemaakt dat het groeifondsvoorstel PhotonDelta op voorwaarden is goedgekeurd. Dit richt zich op het doorontwikkelen en industrialiseren van geïntegreerde fotonica.

PhotonDelta Annual Review 2021

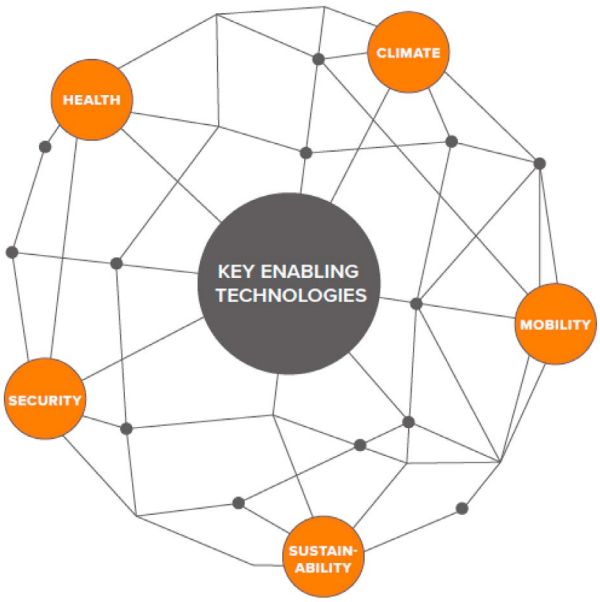


Jonathan Marks, CC BY-SA 4.0
Photonic Integrated Circuit (InP)

Figuur 7 Bij geïntegreerde fotonica worden optische circuits op een chip samengebracht. On-chip-fotonica biedt kansen voor o.a. communicatietechnologie, mobiliteit, gezondheid en agri & food (bron: PhotonDelta Annual Review 2021).

Zoals binnen de elektronica de integrated circuits (ICs) zijn ontwikkeld, zo worden er nu photonic integrated circuits (PICs) ontwikkeld binnen de fotonica. On-chip technologie dus, maar dan met optische circuits. Na jarenlange ontwikkeling bij universiteiten en spin-off bedrijven is nu het punt gekomen om te gaan opschalen naar industriële productie van geïntegreerde fotonica. Wat geïntegreerde fotonica zo veelbelovend maakt, is miniaturisatie en de kostenreductie die grootschalige on-chip productie mogelijk maakt. Dat geldt ook voor optische sensoren, die hierdoor steeds kleiner en goedkoper worden, wat nieuwe toepassingen mogelijk maakt. Ik zal daar straks een voorbeeld van laten zien.

Fotonica als sleuteltechnologie



PhotonicsNL Netherlands
Dutch Optics Centre a TNO and TU Delft initiative
PhotonDelta Gateway to Integrated Photonics
NWO Netherlands Organisation for Scientific Research
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Figuur 8 Fotonica als sleuteltechnologie, beeld uit de Photonics Roadmap 2020 opgesteld door PhotonicsNL, Dutch Optics Centre, PhotonDelta, NWO en RVO.

Fotonica wordt door de Europese commissie beschouwd als 'key enabling technology', een technologie die een belangrijke bijdrage kan leveren aan het aanpakken van grote maatschappelijke uitdagingen, zoals op het gebied van energie en klimaat, milieu en gezondheidszorg. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 8, afkomstig uit de Photonics Roadmap van o.a. PhotonicsNL, DutchOptics Center en PhotonDelta die vandaag ook op de expo aanwezig zijn.

"As Key Enabling Technology (KET), photonics provides sustainable, energy-efficient, miniaturized and low-cost products that allow innovative solutions in a wide field of applications."

Photonics Roadmap 2020

Zoals het woord 'enabling' aangeeft, is fotonica geen doel op zich. Fotonica 'maakt mogelijk'. De vraag is: wat dan? Wat kan fotonica mogelijk maken? En wat willen wij met het lectoraat Fotonica mogelijk maken? Die vraag kan alleen in de context van een toepassing worden gesteld en beantwoord. De brede context waarin wij fotonica plaatsen, is het streven naar een duurzame en gezonde wereld. De leidende vraag bij het vormgeven van de onderzoekslijnen voor het lectoraat Fotonica is dan ook: hoe kunnen wij fotonica inzetten voor die duurzame en gezonde wereld? Dit is natuurlijk nog een heel brede vraag en in het zoeken naar het antwoord hierop maken we bepaalde keuzes. Verduurzaming begint met het hebben van de juiste informatie en heel vaak wordt die informatie verkregen door het doen van metingen. Wij kiezen er daarom voor om *meten en detecteren met optische sensoren* centraal te stellen binnen het lectoraat.

De komende jaren zullen er steeds meer goedkopere en kleinere optische sensoren beschikbaar komen. Wij willen ons met ons onderzoek richten op de kansen en de mogelijkheden die dit soort sensoren biedt voor verduurzaming. Ik zal dat straks met een aantal voorbeelden toelichten.

Niet alleen qua technologie, maar ook qua toepassingsgebied moeten wij onszelf beperken. De toepassingsgebieden waar wij ons op concentreren zijn agri & food en 'structural health monitoring'. Ik kom later terug op wat dat laatste precies is. Laten we beginnen met fotonica voor agri & food.

Fotonica voor agri & food

Waarom fotonica voor agri & food? Eerst het brede perspectief. Vorig jaar heeft de Europese Commissie de Farm to Fork strategie gepubliceerd, zie Figuur 9 (Europese Commissie, Farm to Fork Strategy).

Figuur 9 Schematische weergave van de doelen van de Farm to Fork strategie van de Europese Commissie (EC, 2021).

Dit is een belangrijk onderdeel van de European Green Deal, het streven van de Europese Unie om in 2050 klimaatneutraal te zijn. Doel van de Farm to Fork strategie is om de transitie naar een eerlijk, gezond en duurzaam voedselsysteem te versnellen.

Daarbij gaat het om de gehele keten van voedselproductie, van boerderij tot aan de consument, van boer tot bord. Het sleutelwoord is hierbij transparantie over de gehele keten van voedselproductie. Transparantie is een voorwaarde voor verduurzaming en optische sensoren voor het meten aan gewassen en voedsel zijn hierbij onmisbaar.

Het brede perspectief wordt concreet als we kijken naar de regio waarin De Haagse Hogeschool zich bevindt. Zo komen er uit de glastuinbouwsector vragen voor het meten van gewasparameters: hoe kunnen we een plantziekte in een vroeg stadium detecteren zodat we snel kunnen ingrijpen en er minder bestrijdingsmiddelen nodig zijn? Of: hoe kunnen we het suikergehalte van tomaten meten zonder deze te beschadigen? En uit de voedingsmiddelenindustrie komt de vraag of we de samenstelling van producten kunnen meten. Bijvoorbeeld om vast te stellen hoeveel waardevolle stoffen er nog in restproducten zitten, zodat we kunnen besluiten om die nog te gebruiken in plaats van af te voeren.

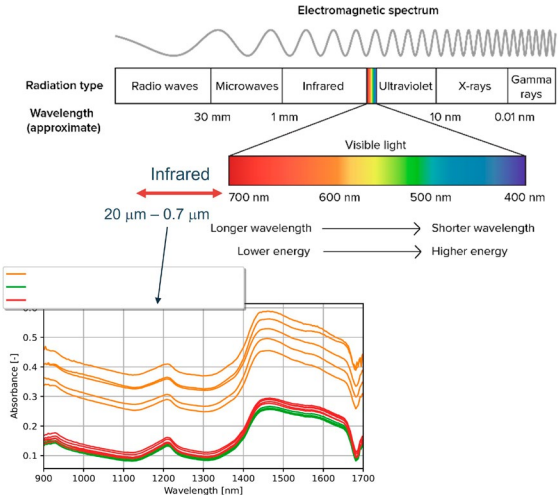
Optische sensoren zijn heel geschikt om op veel van dit soort vragen een antwoord te geven en daarmee een bijdrage te leveren aan een duurzame voedselproductie. En dat is waar onze agri & food onderzoekslijn zich dan ook op richt. Veel vragen gaan over samenstelling van voedsel en voedselproducten. Hoe kunnen we die samenstelling meten? Voor die analyse wordt op grote schaal gebruik gemaakt van een technologie die spectroscopie wordt genoemd. Ik ga nu wat dieper in op deze technologie.

Spectroscopie

Licht dat wij zien als wit licht bestaat uit verschillende golflengten. Een golflengte correspondeert voor ons menselijk oog met een kleur. Rood licht heeft een langere golflengte dan blauw licht. Groen zit er tussen in. In Figuur 10 ziet u de drie kleuren rood, groen en blauw. Als wij deze kleuren mengen kunnen we er wit licht van maken.

Figuur 10 De drie kleuren rood groen en blauw mengen voor het menselijk oog tot wit licht.

Zo werkt ook het beeldscherm van uw mobiele telefoon of deze beamer: door de kleuren rood, groen en blauw te mengen kan wit licht gemaakt worden, of door de verhoudingen van de kleuren te veranderen allerlei andere kleuren. Andersom kan wit licht, zoals het licht van de zon uiteengerafeld worden in alle kleuren van de regenboog, bijvoorbeeld met een prisma. Dit is goed te zien in Figuur 11, waarin mijn zoon Jelle figureert met zijn zelfgeschilderde trui.

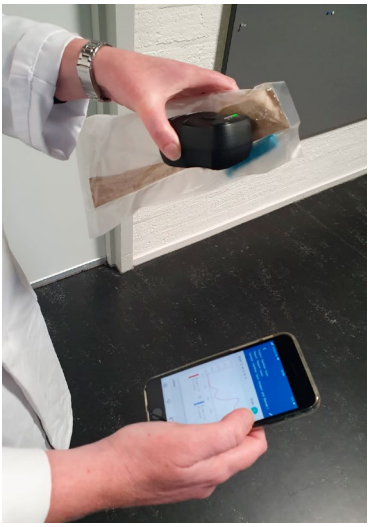


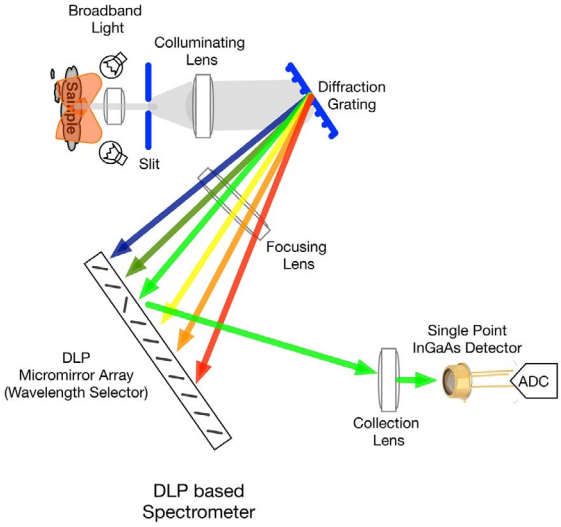
Figuur 11 Licht kan uiteengerafeld worden in verschillende kleuren (golflengtes), bijvoorbeeld met een prisma (links). Rechts: licht is een elektromagnetische golf. Een klein deel van het elektromagnetisch spectrum is voor de mens zichtbaar als licht. Ook infrarood licht wordt veelvuldig gebruikt voor spectroscopie, waarbij een lichtsignaal als functie van de golflengte wordt gemeten (voorbeeld rechts onder).

Spectrometers zijn meetinstrumenten die het licht in verschillende kleuren uiteenrafelen en vervolgens meten hoeveel licht er van iedere kleur is. Door hiermee te meten hoeveel licht een stof reflecteert of doorlaat kun je veel over de stof te weten komen. Je meet dan dus een signaal als functie van de golflengte (zie Figuur 11). Spectroscopie heeft zich ontwikkeld tot een zeer krachtige meettechniek. Een groot deel van de natuurkundige, scheikundige en astronomische kennis die wij de afgelopen eeuwen hebben verworven is gebaseerd op spectroscopische technieken. Het licht dat wij met het oog kunnen zien, is maar een klein deel van het elektromagnetisch spectrum, dat zich uitstrekt van radiogolven met golflengtes van meer dan 1 m tot ioniserende straling met golflengtes korter dan 1 nm.

Voor de analyse van voedsel wordt veel gebruik gemaakt van het infrarode deel van het spectrum, dus van langere golflengtes dan wij met het blote oog kunnen zien. Een belangrijk deel van ons onderzoek binnen de agri & food-onderzoekslijn richt zicht op de toepasbaarheid van infrarood spectrometers in de praktijk. Als voorbeeld licht ik er een project uit waarbij we optische metingen inzetten om aardappelschillen te analyseren. Aardappelschillen zijn een restproduct uit de voedingsmiddelenindustrie, maar bevatten stoffen zoals zetmeel en voedingsvezels die nog bruikbaar zijn. Voor bijvoorbeeld vleesvervangers zoals vegetarische burgers kunnen de vezels goed gebruikt worden. De vraag is of het mogelijk is om met een relatief eenvoudige spectrale meting vast te stellen hoeveelheid zetmeel en vezels er nog in zitten. Tot nu toe worden dit soort metingen nog vooral uitbesteed aan een extern laboratorium, met als nadeel dat de klant maar een beperkt aantal samples kan laten onderzoeken vanwege de kosten en dat het weken kan duren voordat er een meetresultaat beschikbaar is. Het is daarom veel aantrekkelijker om direct zelf in of in elk geval naast de productielijn te kunnen meten. Wij onderzoeken wat de mogelijkheden van kleine spectrometers zijn om dit mogelijk te maken. Dit doen we samen met het Rotterdamse bedrijf Savfood, dat inzet op het terugwinnen van bruikbare stoffen uit restproducten. De verwachting is dat nabij infraroodspectroscopie voldoende betrouwbare informatie kan opleveren voor wat betreft vezels en zetmeel. Een vergelijkbare analyse is enkele jaren geleden gedaan aan tarwezemelen (Hell, 2016).

Wij onderzoeken twee verschillende typen spectrometers. Beide zijn in het nabij infrarode domein van ongeveer 900 tot 1700 nm. Licht dat wij met het blote oog dus niet kunnen zien. Een van de instrumenten is een traditionele spectrometer die licht uiteenrafelt in verschillende kleuren en vervolgens het signaal meet als functie van de golflengte (zie Figuur 12).

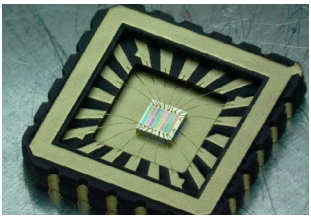


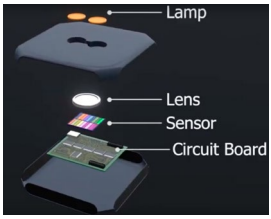


Texas Instruments DLP® NIRscan™ Nano EVM User's Guide, Literature Number: DLPU030G

Figuur 12 Hilde Wijngaard test een handheld infrarood spectrometer. De spectrometer rafelt het licht uiteen met een tralie (diffraction grating) waarna de verschillende golflengtes na elkaar naar een detector worden gestuurd (schematische weergave rechts).

De tweede spectrometer die we onderzoeken is gebaseerd op geïntegreerde fotonica (Figuur 13). Dit instrument is zeer klein en spectrale selectie vindt volledig plaats op een optische chip. De sensor bestaat uit 16 pixels, die ieder een verschillende kleur doorlaten. Deze wordt gemaakt door laagjes van verschillende dikte op de chip aan te brengen. De laagdikte bepaalt welke kleur van het licht doorgelaten wordt (en resonant versterkt wordt). Misschien herkent u dat, als u wel eens olie op water heeft zien drijven. U ziet dat in het rechter plaatje. Het olielaagje is heel erg dun. Afhankelijk van de dikte van het laagje wordt een andere kleur gereflecteerd of doorgelaten. De sensor werkt op een vergelijkbare manier (Hakkel, 2022; Ou, 2022).





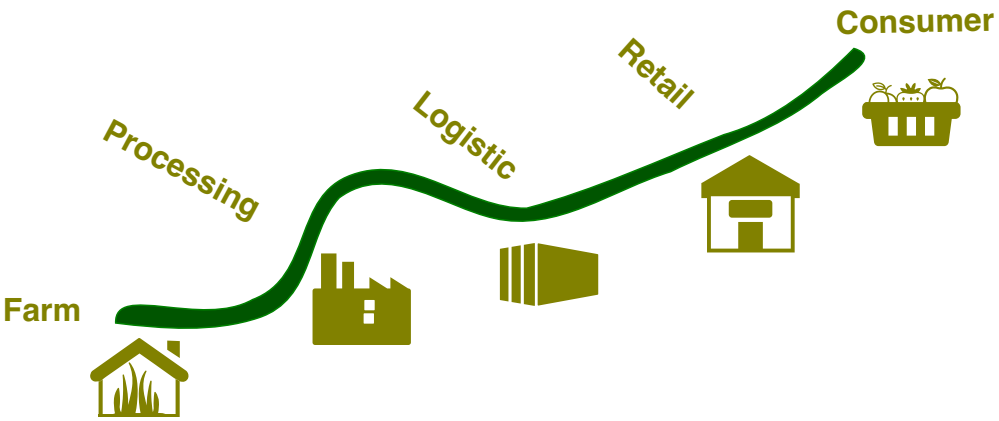
Figuur 13 De geïntegreerde fotonische sensor ChipSense™ van Mantispectra (links en midden) heeft een afmeting van ongeveer 22 mm. Rechts "Oil on water" (Jonny Rueda, CC BY 2.0).

Op dit moment hebben we een eerste dataset gemeten en zijn we bezig met het uitvoeren van referentiemetingen met traditionele chemische meettechnieken. Het onderzoek is een mooie multidisciplinaire samenwerking tussen de kenniskringleden Hilde Wijngaard en Rugéne Leito van Process en Food Technology en Hedde van Hoorn vanuit Technische Natuurkunde. Op de expo is meer te vinden over spectroscopie voor voedselanalyse.

Nu zijn veel spectrometers nog te duur om grootschalig in te zetten, zeker voor consumenten en winkeleigenaren, maar ik verwacht dat er door miniaturisatie steeds meer en goedkopere sensoren beschikbaar komen. Hierdoor wordt het mogelijk om ook verderop in de keten, dus meer richting de supermarkt en consument, te meten aan voedselproducten. De miniaturisatie roept ook vragen op die bij ons onderzoek centraal zullen staan. Want enerzijds is er de belofte van goedkoop veel data kunnen genereren, maar anderzijds is de vraag wat de mogelijkheden van dit soort relatief goedkope spectrometers nu echt zijn. Hoe nauwkeurig kun je meten en hoe gevoelig ben je voor de meetcondities in de praktijk? En wat is de impact van de data-analyse? Hier zullen we inzicht in moeten hebben om betrouwbare informatie te verzamelen. Ik kom daar later nog even op terug.

Hoe dan ook, het zou mij niet verbazen als uw smartphone straks ook beschikt over een camera die niet alleen rood, groen en blauw meet, zoals nu het geval is, maar nog veel meer kleuren, of ook infrarood licht. Dat wordt spectrale afbeeldingstechnologie genoemd (zie kader). Ik heb nu geen gelegenheid om hier dieper op in te gaan, maar op de expo vindt u de mensen van het bedrijf perClass uit Delft waarmee we samenwerken en die u er graag meer over vertellen.

In onze onderzoekslijn fotonica voor agri & food richten we ons met diverse projecten in eerste instantie op het begin van de Farm2Fork-keten, maar wel met het oog op de toekomstige ontwikkelingen waarbij het meten steeds verder richting de consument gaat.



Figuur 14 Farm2Fork-keten, in het Nederlands ook wel 'Van boer tot bord' genoemd.

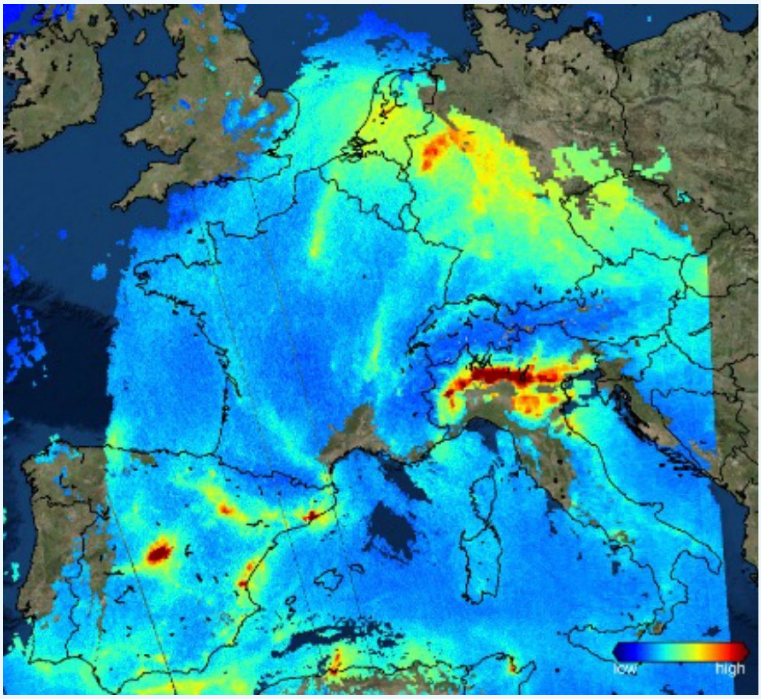
Spectrale afbeeldingsstechnologie

Het kan interessant zijn om spectroscopie te combineren met afbeeldingstechnologie. Dit wordt spectrale afbeeldingstechnologie genoemd. Hierbij wordt een foto gemaakt van een object, maar worden niet alleen rood, groen en blauw gemeten, zoals met een normale kleurencamera, maar worden er (veel) meer kleuren per pixel gemeten.

Door (ook) gebruik te maken van het infrarode deel van het spectrum, is het mogelijk materialen te onderscheiden die voor het blote oog niet of nauwelijks van kleur verschillen. Een bekend voorbeeld is het scheiden van noten en schillen, zoals weergeven in onderstaande figuur.

Het onderscheiden van noten en schillen met spectrale afbeeldingstechnologie.
Bron: https://www.specim.fi/highest-nut-quality-with-optical-inspection/

Spectrale afbeeldingstechnologie wordt ook veelvuldig toegepast voor aardobservatie en klimaatmonitoring met satellieten. Nederland heeft een lange historie op dit gebied. Een bekend recent voorbeeld van een spectrale camera die voor aardobservatie wordt ingezet, is het Tropomi meetinstrument dat in 2017 is gelanceerd en sindsdien een schat aan klimaatgegevens verzamelt. Met een ruimtelijke resolutie die niet eerder vertoond is, geven de metingen inzicht in de emissie van stoffen zoals methaan en stikstofdioxiden (NO_2). Zie onderstaande figuur.



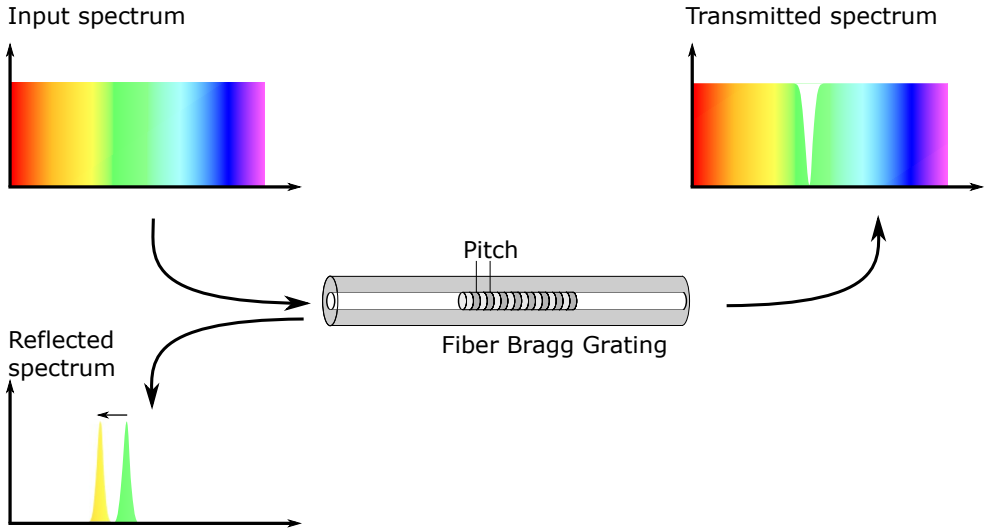
Een van de eerste afbeeldingen gemaakt met het Tropomi meetinstrument (Copernicus Sentinel-5P missie) op 22 november 2017. De afbeelding laat hoge concentraties stikstofdioxide zien in enkele gebieden in Europa, veroorzaakt door verkeer en industrie. De gaten in de afbeelding komen omdat het instrument niet door wolken heen kan kijken. Bron: KNMI/ESA op basis van Copernicus Sentinel data (2017)[2].

Wij zullen bij ons onderzoek ook gebruik gaan maken van spectrale afbeeldingstechnologie. We gaan ons daarbij richten op de vraag hoe deze technologie toegespitst kan worden op specifieke toepassingen in de praktijk, zoals de analyse van gewassen of voedsel. Met toespitsen bedoel ik dat we nagaan welke delen van het spectrum relevant zijn om bepaalde informatie te krijgen. Vervolgens kunnen we een camera ontwerpen die met de juiste kleurfilters alleen die informatie verzamelt en tegen veel lagere kosten dan een generieke spectrale camera.

2 Voor meer informatie zie: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Sentinel-5P_brings_air_pollution_into_focus

Structural health monitoring

Een tweede lijn waarop wij inzetten, is het toepassen van optische sensoren voor structural health monitoring. Dat is niet het meten aan gezondheid van mensen, maar het meten aan machines, gebouwen en infrastructuur. Het doel van structural health monitoring is om te meten hoe een machine of bijvoorbeeld een brug zich houdt tijdens gebruik. Zo kan het juiste moment van onderhoud worden ingeschat. Te vroeg onderhoud kost onnodige inspanning en materialen, maar bij te laat onderhoud, dus als er al iets kapot is, kan dat ook zo zijn, of het kan tot gevaarlijke situaties leiden. Om de belasting van machines en structuren te meten, worden onder andere trillingen, hoekverandering en doorbuiging gemeten. Vaak worden daarvoor elektronische sensoren gebruikt, maar die hebben een aantal nadelen zoals gevoeligheid voor elektromagnetische velden en een relatief korte levensduur. Bovendien moet er een elektrische versterker vlak bij de sensor zitten en is een elektriciteitsaansluiting dus noodzakelijk. Wij onderzoeken het gebruik van sensoren die gebaseerd zijn op glasvezels en die deze nadelen niet hebben.



Figuur 15 Schematische weergave van de werking van een 'Fiber Bragg Grating' (FBG). Als de glasvezel wordt uitgerekt, wordt de FBG ook uitgerekt en reflecteert deze langere golflengtes, hier (wat overdreven) gevisualiseerd door een verschuiving van groen naar geel licht.

Hoe werkt zo'n glasvezelsensor? Bij een glasvezelsensor fungeert de glasvezel zelf als sensor. In de glasvezel is een zogenaamde Fiber Bragg Grating (FBG) aangebracht, een periodieke structuur waarin de brekingsindex varieert (Figuur 15). Licht dat door de glasvezel beweegt kan door deze structuur worden gereflecteerd, maar alleen als de golflengte van het licht overeenkomt met de periodiciteit van de structuur. De golflengte die reflecteert wordt gemeten. Als nu de glasvezel van lengte verandert, zal ook de golflengte van het gereflecteerde licht veranderen. Door deze golflengteverandering te meten kan dus de lengteverandering van de glasvezel worden gemeten. De glasvezel is hiermee een optisch rekstrookje geworden.

Deze eigenschap kan worden gebruikt om trillingen of hoekverandering te meten. Van die laatste geef ik een korte illustratie. Als je een massa aan twee glasvezels ophangt die onder een hoek staan en die hele sensor wordt gekanteld, dan verandert de verhouding tussen de uitrekking van beide glasvezels, zie Figuur 16. Die uitrekking wordt gemeten door beide glasvezels te voorzien van FBGs.

Figuur 16 Demonstratie van het principe van een hoekmeting met glasvezelsensoren (optische rekstrookjes). Als de sensor gekanteld wordt, wordt de ene 'glasvezel' uitgerekt en wordt de ander korter. Voor de ene kant wordt de door de FGB gereflecteerde golflengte daarom langer en voor de andere kant korter. De verandering van het *verschil* tussen beide golflengtes is een maat voor de hoekverandering.

Binnenkort starten we samen met het Delftse bedrijf Somni Solutions aan een project waarbij we dieper inzoomen op de temperatuurgevoeligheid van deze sensoren[3]. Het is een bilateraal project van Nederland en Taiwan en onderdeel van het Eurekaprogramma dat erop gericht is om de samenwerking tussen het Nederlandse en Taiwanese bedrijfsleven te versterken. Doel van het project is ook om de prestaties van glasvezelsensoren te vergelijken met elektronische sensoren.

3 Een van de uitdagingen bij het gebruik van glasvezelsensoren is dat de lengteverandering verschillende oorzaken kan hebben. In het bijzonder is temperatuurvariatie een bron van lengteverandering. Hiervoor zijn wel slimme oplossingen te bedenken: bijvoorbeeld in het geval van de hoeksensor zie je dat als de temperatuur verandert beide glasvezels langer worden, terwijl bij een hoekverandering de ene langer wordt en de andere korter. Omdat het lengte*verschil* gebruikt wordt voor het bepalen van de hoek heeft temperatuurverandering maar zeer beperkt effect op deze meting.

Figuur 17 Guandu brug in New Taipei.

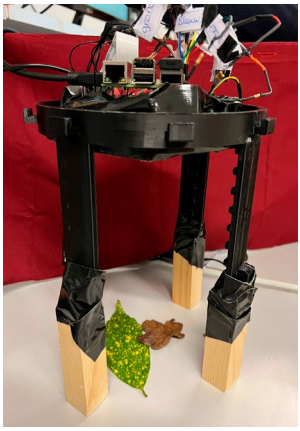
De bekende Guandu brug van New Taipei, die al uitgerust is met conventionele versnellingsopnemers is hiervoor een geschikte testomgeving[4]. Erik Sikma zal hier als docent-onderzoeker en werktuigbouwkundige een belangrijke rol in gaan spelen.

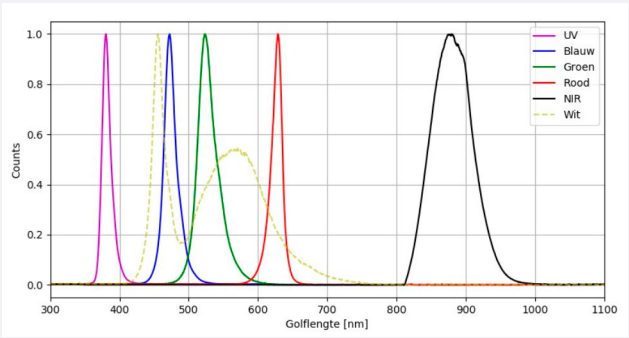
4 De brug zal met tientallen glasvezelsensoren worden uitgerust voor het meten van trillingen, hoek en vervorming. Uiteindelijke doel is om aan te tonen dat fiber optische sensoren zeer geschikt zijn voor het monitoren van infrastructuur en ook dat deze kunnen concurreren met elektronische sensoren. De investering is hoger (wat ook weer te maken heeft met de kleinere productie), maar de levensduur is veel langer. En het gaat daarbij niet alleen om hardwarekosten, maar om alle kosten die samenhangen met het monitoringssysteem, dus ook installatiekosten en de kosten die ermee gemoeid zijn als een weg moet worden afgesloten voor onderhoud.

Metrology toolkit

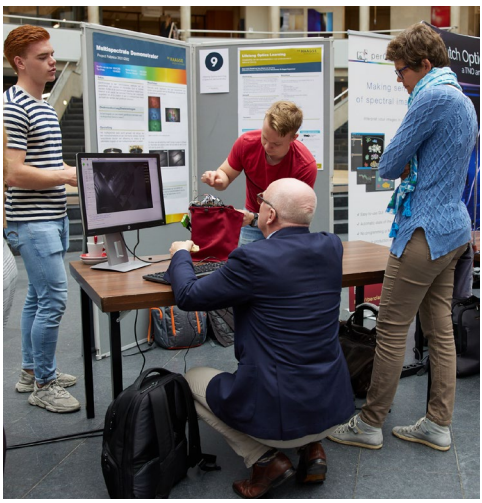
Ik heb er nu twee onderwerpen uitgelicht om het onderzoek binnen de onderzoekslijnen agri & food en structural health monitoring te illustreren. Ter ondersteuning hiervan is er een derde poot, waarin we het meer generieke onderzoek aan optische meettechnieken onderbrengen. We noemen die poot de 'Metrologie Toolkit', onze fotonische gereedschapskist. Optische sensoren zijn vaak breed inzetbaar, maar sommige vragen zijn generiek. Bijvoorbeeld: hoe krijg ik de kosten van een spectrometer omlaag? Of: hoe zorg ik ervoor dat mijn meetresultaten onderling vergelijkbaar zijn, ook als ik twee verschillende sensoren gebruik? Deze poot leent zich ook goed voor studentenopdrachten. Ik noem enkele projecten die sinds de start van het lectoraat door studenten en onder begeleiding van kenniskringleden zijn opgepakt:

1. De low-cost multispectrale demonstrator



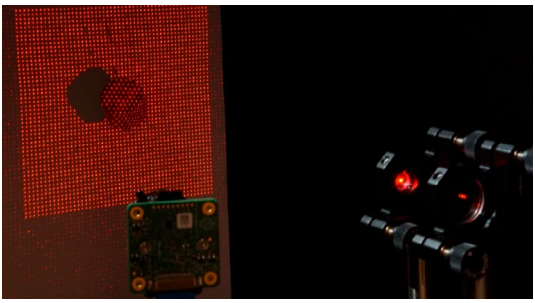


Figuur 18 Links een prototype van de multispectrale demonstrator, met bovenin een aantal LEDs van verschillende kleur en een camera. Het te meten object wordt eronder gelegd. Rechts de spectra van de gebruikte LEDs.



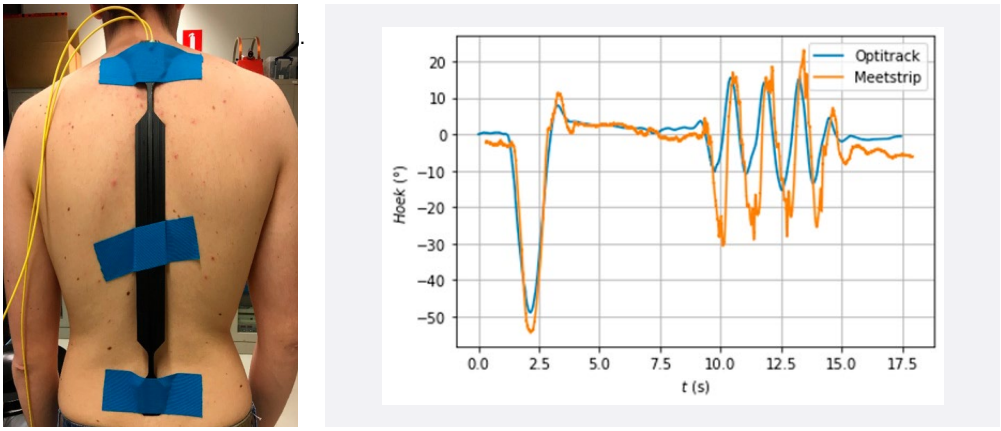
Uitdaging voor de studenten was om een meetinstrument te bouwen dat beelden kan meten bij verschillende kleuren en dat tegen zo laag mogelijke kosten. Het idee hierbij is dat een object belicht wordt met verschillende kleuren, waarbij voor iedere kleur een foto wordt gemaakt met een monochroom camera. Het is de studenten gelukt om voor iets meer dan 100 euro een instrument met 6 kanalen (kleuren) te bouwen (Figuur 18). Met dit onderzoek hebben ze zelfs de finale van de pitch competitie van het Domain Applied Sciences gehaald. Technische Natuurkunde docent en kenniskringlid Arjan Lock heeft ze hierbij begeleid. Meer informatie geven de studenten graag zelf op de expo.

2. Vormmeting met 'structured light'
   In dit project hebben studenten onderzoek gedaan naar het toepassen van 'structured light' om vormen van objecten te meten (Figuur 19). Hierbij wordt een lichtpatroon gecreëerd bestaande uit een groot aantal stippen. Door het patroon af te beelden op een voorwerp, kan uit de vervorming van het patroon door middel van een algoritme de vorm gereconstrueerd worden. Hiermee kan bijvoorbeeld de vorm van een blad worden gemeten, wat interessant is voor telers omdat het wat zegt over de toestand van een plant. Maar deze technologie kan ook interessant zijn om aan producten te meten in het kader van remanufacturing. Dus hier ligt ook een link met het lectoraat Smart Sustainable Manufacturing van Jenny Coenen.



Figuur 19 Links: foto van de structured light opstelling. Rechts: de vierdejaars studenten Technische Natuurkunde (vlnr. Floris Hogenes, Femke van der Sloot, Timo Duindam en Niels van den Nieuwendijk) met hun 3e prijs van de pitch competitie.

Verschillende groepjes studenten hebben hieraan gewerkt, een opstelling gebouwd en vooral veel tijd besteed aan het opzetten van de reconstructiesoftware. In het voorjaar van 2022 heeft een groepje studenten hiermee de 3e prijs gewonnen in de Applied Science Pitch Competition! En vervolgens is Christina Sfetsou als Erasmus+ student met dit onderwerp doorgegaan. Docent Technische Natuurkunde Jon Brons is hierbij betrokken vanuit het lectoraat.



Figuur 20 Fiber optic shape sensing. Met een glasvezel die voorzien is van Fiber Bragg Gratings, wordt een loopbeweging gemeten. In de figuur rechts wordt de vervorming van de meetstrip vergeleken met het Optitrack systeem, waarbij camera's worden gebruikt.

3. Fiber optic shape sensing
   Het project 'Fiber optic shape sensing' gaat over het meten van vervorming met de inmiddels bekende Fiber Bragg Gratings. De toepassingscontext is hier het meten van de loopbeweging van personen (Figuur 20). Ook hieraan heeft een groep studenten gewerkt, wat is voortgezet door Aaron Mellema, die als student-assistent aan het lectoraat verbonden is en hier samen met Arjan Lock aan werkt (Lock, 2022).

4. Ten slotte gaan we na de zomer starten met het ontwerpen en bouwen van een opstelling waarmee we spectrometers, camera's en spectrale camera's (dus een combinatie van de eerste twee) kunnen vergelijken (Figuur 21). Deze opstelling is geïnspireerd op werk dat ik samen met collega's van VSL en met TNO gedaan heb (Van den Berg, 2021). Doel is om een lichtbron te bouwen die als referentie dient om sensoren onderling te vergelijken.

Dit is meteen een bruggetje naar een onderwerp dat naar mijn idee nogal eens onderbelicht is in het onderzoek en dat is het belang van kalibratie van meetinstrumenten en het goed afschatten van de meetonzekerheid.

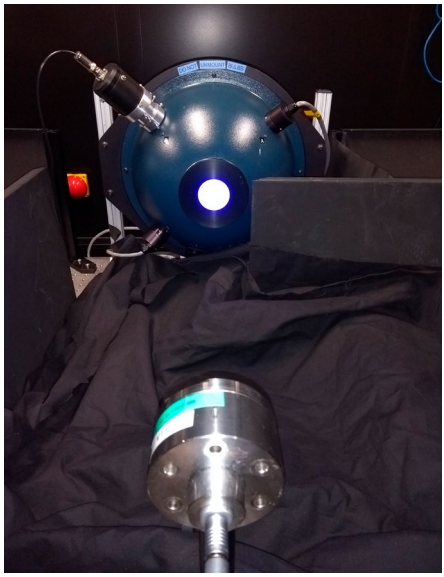


Foto SvdB/VSL

Figuur 21 Foto van de meetopstelling van VSL waarmee spectrale camera's kunnen worden gekalibreerd. Boven een integrerende bol die als radiantiebron fungeert (de kleur kan worden gevarieerd), onder een referentiedetector op de positie waar later de te kalibreren camera kan worden neergezet.

Het belang van kalibratie en meetonzekerheid

De perfecte meting bestaat niet. Daar bedoel ik mee: er zit altijd een bepaalde onzekerheid op de waarden die gemeten worden. Dat is op zich geen probleem, maar het is wel noodzakelijk om die onzekerheid te kwantificeren. Is die 10%, 1% of nog veel kleiner? Hier moet je een uitspraak over kunnen doen om betekenis te geven aan een meting. Het is goed om hierbij onderscheid te maken tussen de meting zelf (bijvoorbeeld het meten van een spectrum) en de informatie die je uiteindelijk wilt weten, bijvoorbeeld de hoeveelheid voedingsvezels in een product. De spectrale meting heeft een bepaalde onzekerheid. De vraag is dan wat het effect hiervan is op de nauwkeurigheid waarmee je de hoeveelheid vezels kunt meten[5].

Dit zijn belangrijke vragen, zeker nu er steeds meer gebruik gemaakt wordt van complexe data-analyse op basis van machine learning. Zo wil je kunnen inschatten wat het effect is als je een sensor moet vervangen. Kan dat zomaar? Hoe werkt het door op mijn eindresultaat als de nieuwe sensor een iets andere respons heeft? Kalibratie van sensoren door te vergelijken met een referentiestandaard is dan vaak een eerste stap.

Kalibratie en meetonzekerheid zullen dus als een rode draad door ons onderzoek heen lopen. En er is niets mis met onzekerheid, het hoort bij het leven. De natuurkundige Richard Feynman heeft dat mooi verwoord. Hij zei: 'What is not surrounded by uncertainty cannot be true' (Feynman, 2015).

Tamiko Thiel 1984, CC BY-SA 3.0

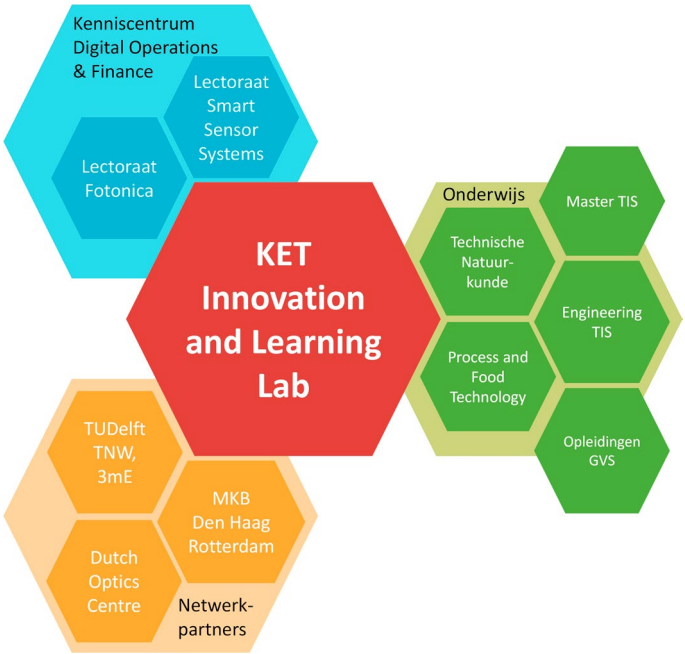
‘What is not surrounded by uncertainty cannot be true’

Richard P. Feynman

5 Het ‘nadeel’ van beter nadenken over meetonzekerheid is dat het in eerste instantie vaak leidt tot een hogere meetonzekerheid op je eindresultaat. Zo kun je bij het kalibreren van een spectrometer over het hoofd zien dat je last hebt van spectraal strooilicht. In het ideale geval correspondeert iedere pixel van je spectrometer met een bepaalde kleur, maar door verstrooiing van licht kan er toch wat licht van een andere kleur op een pixel komen. Hierdoor maak je een meetfout waarvoor je moet corrigeren, of die je moet meenemen in de meetonzekerheid die hier groter van wordt. Je wordt dus gestraft voor beter nadenken, zo lijkt. Maar uiteindelijk gaat het er natuurlijk om dat je de meetonzekerheid goed kunt onderbouwen, waarmee je ook laat zien dat je begrijpt wat je aan het doen bent. En zodra je goed inzicht hebt in de grootste bijdragen aan de meetonzekerheid kun je deze ook gericht aanpakken en zo mogelijk verkleinen, als dat nodig is.

Ik vind dat om meerdere redenen een mooie uitspraak. Je kunt hem vrij letterlijk nemen en toepassen op het belang van meetonzekerheid bij kwantitatieve metingen, maar het gaat verder dan dat. En nu permitteer ik mij even een kort uitstapje. Want de uitspraak van Feynman gaat ook over ruimte voor twijfel en het belang hiervan voor de veerkracht van de wetenschap. Het gaat over kritisch denken met ruimte voor twijfel, zowel over je eigen blik als die van anderen. Onderzoeken is daarmee ook een oefening in kritisch denken. Betrokkenheid van studenten bij het onderzoek is daarom om meerdere redenen heel waardevol. Het draagt bij aan het ontwikkelen van kritisch denken en een kritische levenshouding van de studenten, maar de interactie met studenten scherpt ook de geest van de begeleidend onderzoeker.

Onderzoek en onderwijs



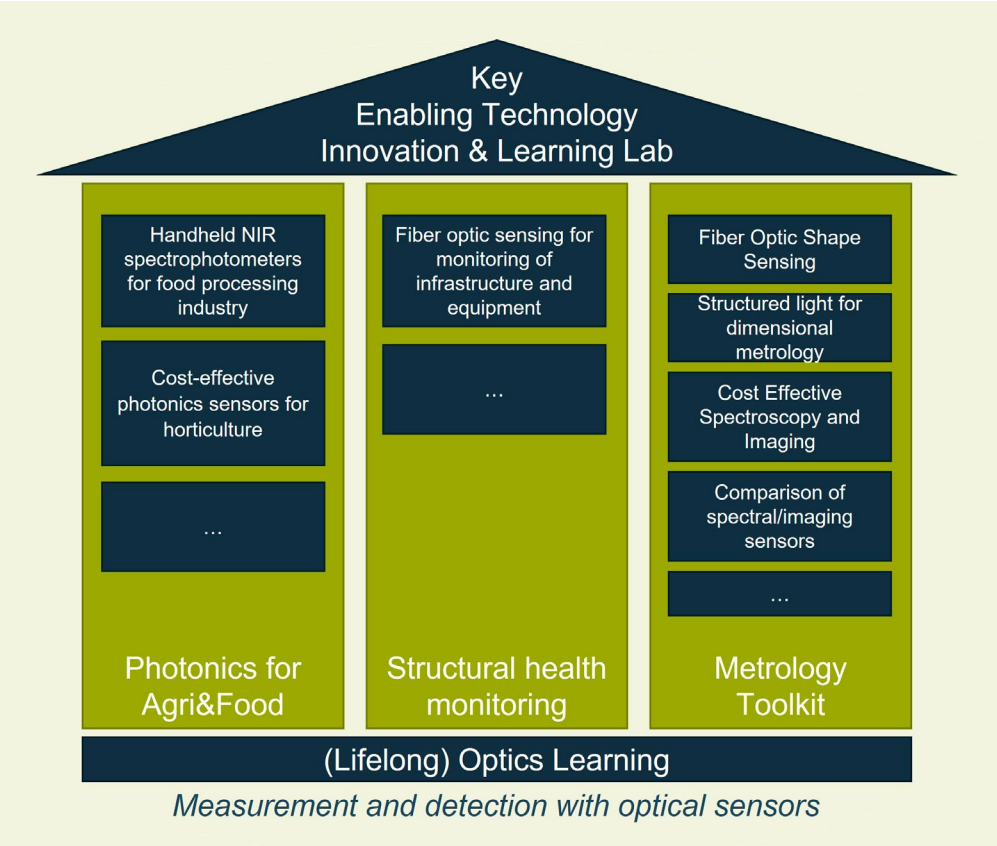
Figuur 22 Het Key Enabling Technology Innovation and Learning Lab brengt onderzoek en onderwijs op het gebied van fotonica en nano/microtechnologie samen.

Nog een paar woorden over onderzoek en onderwijs. Gezien de verwachte groei van het vakgebied fotonica is er een toenemende behoefte aan goed geschoold personeel, aan 'fotonici'. Gebrek aan voldoende geschoold personeel zou een serieuze belemmering kunnen gaan vormen voor de ontwikkeling van het fotonicaveld en dat is iets waarvan het fotonica-ecosysteem in Nederland en de EU zich terdege bewust is (Nationale Agenda Fotonica, 2018; Photonics Roadmap 2020; Photonics21, 2019). En hoewel de basis van de fotonica in de natuurkunde ligt, is er zeker niet alleen behoefte aan fysici. Naarmate de 'Technology Readiness Levels' stijgen, ontstaat er steeds meer behoefte aan afgestudeerden met verschillende achtergronden die tijdens hun opleiding kennis gemaakt hebben met fotonica, zoals elektrotechnici, werktuigbouwkundigen, mechatronici, chemisch technologen en anderen. Want zowel de ontwikkeling en fabricage als de toepassing van fotonica zijn multidisciplinair. Veel kansen dus voor afgestudeerden om in dit mooie vakgebied te gaan werken.

We leiden niet alleen studenten op, we werken ook aan de bijscholing van werkenden in het Lifelong Optics Learning programma. Samen met de TU Delft, de Leidse Instrumentmakers School en TNO, plus een flink aantal bedrijven uit de fotonicasector, wordt er gewerkt aan de bijscholing van het personeel op het gebied van fotonica.

En om het onderzoek te faciliteren zijn wij bezig met het opzetten van het Key Enabling Technology Innovation & Learning lab. Hierin worden de sleuteltechnologieën fotonica en nanotechnologie ondergebracht en apparatuur en kennis toegankelijk gemaakt voor gebruikers van binnen en buiten de hogeschool.

Afsluiting



Figuur 23 Samenvatting van de onderzoekslijnen van het lectoraat Fotonica.

Ik geef een korte samenvatting van de onderzoekslijnen en onze activiteiten in Figuur 23. Binnen het lectoraat fotonica werken wij aan de twee hoofdlijnen 'Photonics for Agri & Food' en 'Structural health monitoring', waarbij de derde pilaar de ondersteunende 'Metrology Toolkit' is. Het onderzoek vindt letterlijk plaats onder het dak van het Key Enabling Technology Innovation & Learning Lab en heeft Optics Learning als basis.

Centraal staat dat we door de inzet van optische sensoren en de informatie die daarmee wordt verkregen een bijdrage willen leveren aan een duurzamere maatschappij met meer hergebruik, minder afvalstromen en minder gebruik van grondstoffen. Het uitdagende hierbij is om fotonicakennis te combineren met kennis van het toepassingsgebied. Door de toepassing van fotonica in een bepaalde context wordt het onderzoek vanzelf multidisciplinair. Dat is ook terug te zien in de samenstelling van onze onderzoeksgroep. Docent-onderzoekers uit de technische natuurkunde, met kennis van fotonica en optica werken samen met docent-onderzoekers van andere opleidingen, die specifieke kennis hebben van het toepassingsgebied.

Een bekende uitspraak van de Leidse natuurkundige Heike Kamerlingh Onnes luidt: ‘door meten tot weten’, waarmee hij het belang van kwantitatief onderzoek in de natuurkunde onderstreepte. Soms wordt deze uitspraak verbasterd tot ‘meten is weten’, maar dat is uiteraard een onterechte vereenvoudiging. Om van meten tot weten te komen kan een grote inspanning of het krijgen van een belangrijk inzicht nodig zijn.

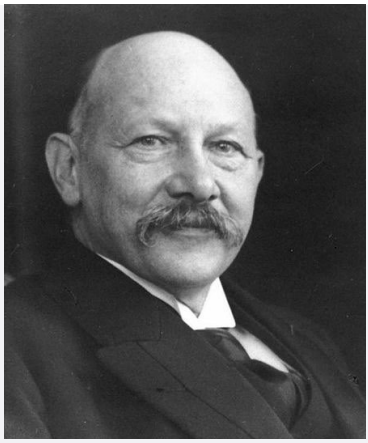


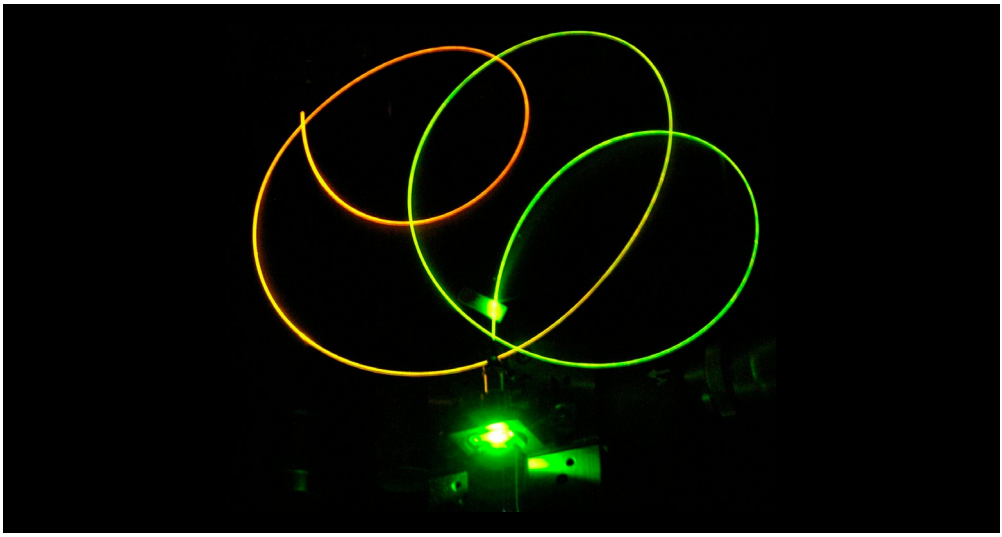
foto: free use

‘ Door meten tot weten ’

Heike Kamerlingh Onnes

In de context van meten als bijdrage aan een duurzamere wereld, voeg ik aan ‘door meten tot weten’ graag toe: ‘door weten tot handelen’. En dan doel ik niet alleen op de hier gepresenteerde plannen voor het lectoraat. Ik doel ook op de bredere context van alle kwantitatieve metingen die inzicht geven in klimaatverandering en milieubelasting. Want we ‘weten’ hierover intussen ontzettend veel dankzij goed onderbouwde metingen, nu gaat het vooral ook om handelen.

Ten slotte wil ik nog even terugkomen op het fascinerende van de fotonica. Waar zit hem dat in voor mij? Ik denk vooral in de veelzijdigheid ervan, maar ook omdat er een zekere schoonheid zit in het werken met licht, zeker als het zichtbaar licht is. Aan het begin van deze rede liet ik al kort een plaatje van een oplichtende glasvezel zien. Zeker in het donker ziet deze er fascinerend uit.



Figuur 24 Door een ultrakorte puls infrarood licht door een glasvezel met een speciale microstructuur te leiden, worden er dankzij het zeer hoge optische vermogen in de kern van de glasvezel nieuwe, zichtbare, kleuren gegenereerd[6].

De foto is afkomstig van een meetopstelling die ik jaren geleden bij VSL heb gebouwd. Mij ontbreekt nu de tijd om hier dieper op in te gaan, maar met de opstelling is het mogelijk om extreem nauwkeurig optische frequenties te meten. Dit heeft zo'n grote impact gehad op zowel de fundamentele natuurkunde als op de praktijk van lengtemetingen, dat de grondleggers van deze technologie in 2005 de Nobelprijs hebben ontvangen (The Nobel Prize in Physics, 2005). Zelf heb ik jarenlang aan deze mooie 'frequentiekamtechnologie' mogen werken, in samenwerking met onder andere de VU (o.a. Wolf 2009) en de TU Delft (o.a. Van den Berg 2012, 2015; Hei, 2019).

Voor mij is deze glasvezel een illustratie van het fascinerende van de fotonica omdat kunst, (fundamentele) wetenschap en praktische toepassing hierin samenkomen. Natuurlijk zijn niet alle meetopstellingen of apparaten zo fotogeniek, maar de kern blijft hetzelfde: dat we door middel van licht enorm veel over de wereld te weten kunnen komen.

6 De glasvezel is een bijzondere variant met een zeer kleine kern. Als er een extreem korte en intense laserpuls door de glasvezel wordt gestuurd is de vermogensdichtheid van het licht zo hoog dat er nieuwe kleuren ontstaan. Met infrarood licht, met een nauwelijks zichtbare golflengte van 800 nm, wordt een hele regenboog aan nieuwe kleuren gemaakt. Het bijzondere hiervan is dat als je zou inzoomen op de regenboog van kleuren, je ziet dat deze uit honderdduizenden discrete kleuren bestaat, dus honderdduizenden aparte golflengten. Het gaat te ver om hierover nu in detail te treden, maar de spectrale verbreding die mogelijk is met deze glasvezel is een essentiële stap geweest in de ontwikkeling van de hoge-resolutie spectroscopie, waarbij optische frequenties direct ten opzichte van een tijdstandaard (bijvoorbeeld een atoomklok) kunnen worden gemeten. Dit heeft ook de directe koppeling tussen de SI grootheden meter en seconde mogelijk gemaakt, omdat de golflengtes (frequenties) van de laserstandaarden zoals in Fig. 4. direct ten opzichte van de atoomklok kunnen worden gemeten.

Dankwoord

Ter afsluiting wil ik graag een aantal mensen bedanken. Te beginnen met de leden van de Fotonica-kenniskring, want ik ben heel blij met jullie en jullie enthousiasme en drive om fotonicatechnologie praktisch toepasbaar te maken. Arjan Lock, je bent als trekker van het profiel Fotonica bij Technische Natuurkunde vanaf het 1e uur betrokken bij het lectoraat en brengt veel fotonica-ervaring mee, ook op onderwijsgebied. Hilde Wijngaard, je sloot je al snel aan en bracht een sterke achtergrond als onderzoeker in de voedseltechnologie mee en een interessant netwerk. Rugéne Leito, je ondersteunt het onderzoek met metingen in het lab en gaat de waarom-vraag nooit uit de weg. Erik Sikma, je hebt als werktuigbouwer veel van het bedrijfsleven gezien. Mooi hoe je dat meeneemt en inbrengt in het fotonica-onderzoek! Jon Brons, met jouw achtergrond in de vloeistofdynamica heb je toch maar mooi een hoop ervaring opgedaan met image processing en dat komt goed van pas. Je zit het liefst in het lab. Heel fijn, want in het lab daar gebeurt het! Hedde van Hoorn, na jouw start bij het lectoraat heb je je meteen enthousiast op een aantal projecten gestort en ook op de machine learning, iets wat met al die data-acquisitie van optische sensoren heel goed van pas gaat komen. Aaron Mellema, dank voor je inzet voor de bewegingsmetingen met glasvezelsensoren.

Graag wil ik ook Ellen Richter als ondersteuner van het lectoraat bedanken. Je bent pas net begonnen bij De Haagse en hebt meteen je vuurdoop met het organiseren van deze intreeredes samen met Astrid Jansen en Merel Hillen. Veel dank aan jullie en aan iedereen die verder geholpen heeft deze dag vorm te geven. In het bijzonder noem ik de studenten en onze externe partners die een bijdrage hebben geleverd aan de expo. Heel veel dank.

De kenniskring Fotonica: vlnr. Aaron Mellema, Rugéne Leito, Hilde Wijngaard, Jon Brons, Steven van den Berg, Ellen Richter, Arjan Lock, Hedde van Hoorn en Erik Sikma.

Graag noem ik ook Oda Kok, die mij als ondersteuner van de kenniskring vorig jaar met al haar ervaring wegwijs heeft gemaakt binnen de hogeschool, dank! Van het Kenniscentrum Digital Operations and Finance noem ik graag John Bolte als leading lector en vandaag onze energieke dagvoorzitter, Merel Hillen en Margot Custers en mijn collega-lectoren van het kenniscentrum en van de faculteit TIS. Samen zorgen jullie voor een heel veelzijdige en interessante omgeving. Bedankt hiervoor. En in het bijzonder wil ik Jenny Coenen bedanken. Ik bewonder je energie en organisatievermogen waarmee je je hebt ingezet voor deze dag. Het was heel fijn om samen met jou te sparren en naar deze dag toe te werken. En het is heel fijn om jou als collega lector letterlijk naast mij te hebben in de Bètafactory in Delft.

Heel veel dank ook aan de opleidingsmanagers van de verschillende TIS opleidingen voor de goede discussies en fijne samenwerking. In het bijzonder noem ik Nellie van de Griend, faculteitsdirecteur van TIS: bedankt voor je vertrouwen en support. Ook wil ik wil jou, John Bolte en het College van Bestuur van De Haagse Hogeschool, hier vertegenwoordigd door Hans Camps, van harte bedanken voor het in het leven roepen van dit lectoraat. Ik vind het een eer en ontzettend leuk om hier invulling aan te mogen geven.

Ik ben er bijna 😊. Mar van der Hoek, ik denk dat ik je wel een van de nestors van de fotonica in Nederland mag noemen. Ik heb je het afgelopen jaar leren kennen als iemand met een grote liefde voor het vak. En met een groot en warm hart voor het opleiden van de volgende generatie fotonici. Heel veel dank dat je bij deze gelegenheid je enthousiasme met deze zaal wilde delen.

Om af te sluiten: graag bedank ik jullie allemaal. Fijn dat jullie er zijn: iedereen die hier is vanuit het fotonicaveld, collega's, oud-collega's, studenten, vrienden en familie en andere belangstellenden. En ik eindig bij de basis, bij mijn gezin: Jelle, Joost, Maaike en Christiane. Ik ben heel blij met jullie. Jullie zorgen voor warmte, licht en kleur. Wat fijn dat jullie er zijn.

Referenties

APS News (2005). This Month in Physics History: Einstein Predicts Stimulated Emission. *APS News 14*(8). https://www.aps.org/publications/apsnews/200508/history.cfm

APS News (2010). Volume 19, Number 5).This Month in Physics History: May 16, 1960: Maiman Builds First Working Laser. *APS News 19*(5). https://www.aps.org/publications/apsnews/201005/physicshistory.cfm

Biard, J.R. & Pittman, G. (1966). US Patent 3293513, "Semiconductor Radiant Diode", Filed on Aug. 8th, 1962, Issued on Dec. 20th, 1966.

Colladon, J.-D. (1882). "Sur les réflexions d'un rayon de lumière à l'intérieur d'une veine liquide parabolique." *Comptes Rendus 15*, 800-802.

Colladon, J.-D. (1884). "La fontaine Colladon." *La Nature 12*, 525-526.

Einstein, A. (1917). "Zur Quantentheorie der Strahlung." *Physika Zeitschrift 18*, 121-128.

European Commission. Farm to Fork strategy. https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en (geraadpleegd 8 mei 2022).

Feynman, R. P., Feynman, M., Cox, B., & Ma, Y. (2015). The Quotable Feynman, Princeton University Press.

Hakkel, K.D., Petruzzella, M., Ou, F. *et al*. (2022). Integrated near-infrared spectral sensing. *Nat Commun 13*(103). https://doi.org/10.1038/s41467-021-27662-1

Hei, K., Shi, G., Hanse, A., Deng, Z., Latkowski, S., Van den Berg, S.A., Bente, E., & Bhattacharya, N. (2019). Distance Metrology with Integrated Mode-locked Ring Laser. *IEEE Photonics Journal* 11(6), 1-10. https://doi.org/10.1109/JPHOT.2019.2940068

Hell, J., Prückler, M. Danner, L. Henniges, U., Apprich, S., Rosenau, T., Kneifel, W., & Böhmdorfer, S. (2016). A comparison between near-infrared (NIR) and mid-infrared (ATR-FTIR) spectroscopy for the multivariate determination of compositional properties in wheat bran samples. Food Control 60, 365-369. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.003

IEA (2021). Lighting, IEA, Paris. https://www.iea.org/reports/lighting

Khan, Y., et al. (2018), A flexible organic reflectance oximeter array, *PNAS* 115 (47), E11015-E11024. https://doi.org/10.1073/pnas.1813053115

Lock A., Mellema A., & Van den Berg, S.A. (2022). FBG-Based Sensing of the Back during Gait Cycle. *Engineering Proceedings*. *21*(1), 36. https://doi.org/10.3390/engproc2022021036

Nakamura, S., Takashi Mukai, T., & Senoh, M. (1994). Candela-class high-brightness InGaN/AlGaN double-heterostructure blue-light-emitting diodes. *Appl. Phys. Lett. 64*, 1687-1689. https://doi.org/10.1063/1.111832

Nationale Agenda Fotonica 2018. PhotonicsNL, Dutch Optics Centre, PhotonDelta. https://www.photonicsnl.org/wp-content/uploads/2018/08/National-Agenda-Photonics_english-version.pdf

Ou, F., Van Klinken, A., Hakkel, K.D., Petruzzella, M., Van Elst, D.M.J., Ševo, P., Li, C., Pagliano, F., Van Veldhoven, R.P.J., & Fiore, A. (2022). Spectral Sensing Using a Handheld NIR Module Based on a Fully Integrated Sensor Chip. *Spectroscopy Outside the Laboratory 37*(S11). https://doi.org/10.56530/spectroscopy.yd5989g6

Photonics Roadmap 2020. PhotonicsNL, Dutch Optics Centre, PhotonDelta, NWO en RVO. https://www.photonicsnl.org/wp-content/uploads/2021/04/HTSM-Roadmap-Photonics-September-2020.pdf

Photonics21 (2019). Photonics21 Multiannual Strategic Roadmap 2021–2027. https://www.photonics21.org/download/ppp-services/photonics-downloads/Europes-age-of-light-Photonics-Roadmap-C1.pdf

The Nobel Prize in Physics 2005. NobelPrize.org. Nobel Prize Outreach AB 2023. Wed. 4 Jan 2023. https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2005/summary/

Van den Berg, S.A., Dekker, P., Otter, G., Pelica Páscoa, M., & Dijkhuizen, N. (2021). Calibration of a CubeSat spectroradiometer with a narrow-band widely tunable radiance source. *Appl. Opt. 60*(7) 1995-2002. https://doi.org/10.1364/AO.417467

Van den Berg, S.A., Kok, G.J.P., Persijn, S.T., Zeitouny, M.G., & Bhattacharya, N. (2012) Many-wavelength interferometry with thousands of lasers for absolute distance measurement. *Phys. Rev. Lett. 108*, 183901. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.108.183901

Van den Berg, S.A., Van Eldik, S., & Bhattacharya, N. (2015). Mode-resolved frequency comb interferometry for high-accuracy long distance measurement. *Scientific Reports 5*, 14661. https://doi.org/10.1038/srep14661

Wolf, A.L., Van den Berg, S.A., Ubachs, W., & Eikema, K.S.E. (2009). Direct frequency comb spectroscopy of trapped ions. *Phys. Rev. Lett. 102*, 223901. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.102.223901

De Haagse Hogeschool
Johanna Westerdijkplein 75
2521 EN Den Haag