

INTREEREDE

Voorkomen door voorspellen:
Weet wat je meet!

John Bolte, lectoraat Smart Sensor Systems



let's change
YOU. US. THE WORLD.

DE HAAGSE
HOGESCHOOL

LECTORAAT SMART SENSOR SYSTEMS

Slimme meetinstrumenten en sensoren (statisch, mobiel en zelfs draagbaar) leveren een wereld aan nuttige gegevens en toepassingen op. Voor het bedrijfsleven, de zorg, maar ook andere sectoren. Het lectoraat Smart Sensor Systems richt zich op het ontwerp en de ontwikkeling van dergelijke meetnetwerken, maar ook op het verwerken en terugkoppelen van metingen.

Preventie en predictie zijn de kernwoorden van het lectoraat. Meten is weten. En weten is vóór zijn. Of het nu gaat om predictieve modellen voor gezondheid en (arbeids)veiligheid of early warning systems voor preventief onderhoud van machines. Voorkomen is beter – en goedkoper – dan genezen of repareren.

Het lectoraat is aangesloten bij twee onderzoeksplatforms van De Haagse Hogeschool:

[Kwaliteit van Leven: Mens en Technologie](#)

[Goed Bestuur voor een Veilige Wereld](#)

Voorwoord

Dit boekje is een woordelijke weergave van de door mij op 25 januari uitgesproken tekst bij de generale repetitie voor de intreerede op 1 februari 2018: “Voorkomen door voorspellen: Weet wat je meet!”. Met de kanttekening dat ik in enkele gevallen de uitgesproken woorden heb aangepast met het oog op de leesbaarheid en verwijzingen naar presentatiedia's. Dit boekje, de opgenomen videoweergave van 1 februari, de foto's en de presentaties zijn ook terug te vinden op [deze website](#).

John Bolte

**Lector Smart Sensor Systems,
De Haagse Hogeschool**





INHOUD

- Inleiding
- Introductie
- Wat is de stand van zaken?
- Weet wat je meet
- Wat doet het lectoraat en waar gaan we naartoe?
- Referenties
- Dankwoord

Inleiding

Welkom, ik ben verheugd dat u vandaag allen aanwezig bent, waarschijnlijk bent u hier niet gemakkelijk gekomen. Ik stel me zo voor dat u na een drukke werkdag, enigszins vermoeid en misschien wel gestresst, met enige haast over de A12 vanuit Utrecht aankwam. Maar dat is de weg die zodra het iets drukker is, vastloopt, niet alleen door het aantal weggebruikers, maar ook omdat er nog wel eens aanrijdingen voorkomen. De A12 is ook de snelweg die, volledig volgens jaren-70-filosofie, midden in Den Haag aankomt. Dat leidt uiteraard voor de inwoners, zelfs met geluidsschermen, tot geluidsoverlast, om over de uitstoot van alle voertuigen en hun negatieve bijdrage aan de luchtkwaliteit nog maar te zwijgen. Daarbij is het vinden van een parkeerplek niet helemaal makkelijk en al zeker niet goedkoop, want ruimte in de stad is schaars.

Maar stel je nu eens dit voor: je hebt helemaal geen parkeerplek, maar u hebt ook geen auto meer, dus dat scheelt. Dat scheelt verkeersstress, ongelukken en vervuiling. En daarmee bent u sneller, is de stad leefbaarder en bent u gezonder. Uw planningstool heeft een van de permanent zelfrijdende reispods opgeroepen, die keurig om half acht klaarstaat. U stapt in, gaat zitten en leest de krant, terwijl de elektrisch aangedreven pod u veilig en stressloos door de ochtendddrukke van door rood gaande fietsers en voetgangers leidt. U sluit aan bij de roadtrain van platooning pods op de A12 om vervolgens met de ideale doorloopsnelheid van 87,5 km/uur naar Den Haag te rijden. De pod rijdt met een minimum aan geluid en zonder uitstoot de stad binnen en wordt losgekoppeld. Het verkeerssysteem bepaalt wat het snelst is, overstappen op de benenwagen, de fiets, een last mile vehicle, of toch doorrijden. Aan het eind van de rit krijgt u een advies van uw slimme pak op basis van gemeten luchtkwaliteit, bloedsuikerspiegel, spierverspanning en hartslag of het beter is voor uw fysieke en mentale gezondheid om vanmiddag te gaan hardlopen of dat het met uw persoonlijke gevoeligheid vandaag beter is om het fijnstof in de buitenlucht te mijden.

Fantasie? Nee! Sommige zaken die ik noemde kunnen al, en de andere zijn er uiterlijk 2030.

Het lectoraat Smart Sensor Systems draagt bij aan deze toekomstvisie, van een veilige, gezonde en bereikbare stad. We werken aan automatische verkeerssystemen en zelfrijdende voertuigen, maar ook aan advies op basis van een persoonlijke gevoeligheidsrelatie voor uw gezondheidsstatus door blootstelling, voeding en beweging, gemeten met smart sensorsystemen.

Introductie

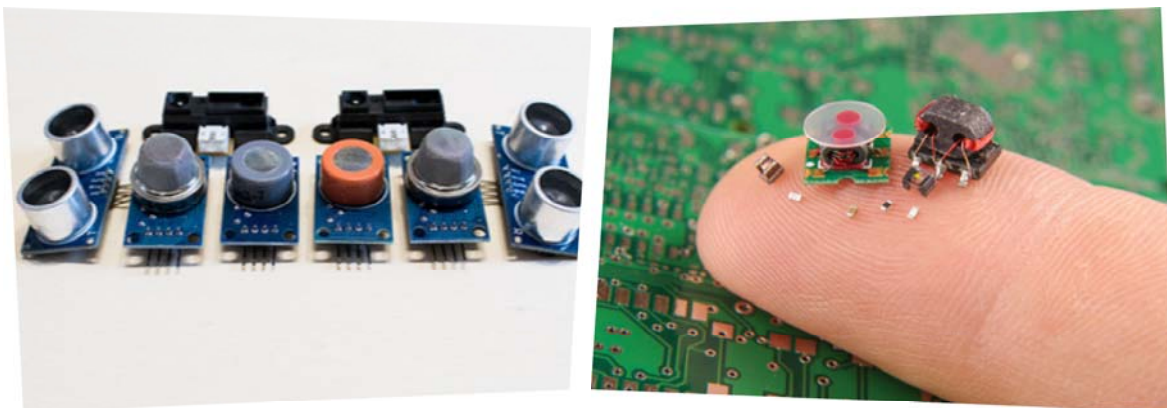
Welkom, ik ga u meenemen in de wereld van de slimme sensorsystemen, wat er nu al kan, hoe en wat je moet meten, en vervolgens wat wij er aan doen. Ik zie buitenlandse gasten van de universiteit Gent, externe partners van onze projecten in de kas en met zelfrijdende voertuigen, familie en vrienden, en uiteraard collega's van De Haagse Hogeschool, maar ook van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, het RIVM, uit Bilthoven. Ik werk namelijk al 16 jaar als natuurkundige en blootstellingsepidemioloog aan het RIVM en sinds september 2016 als lector hier. Een combinatie die ik zelf schitterend vind, en het is ook mijn ambitie om deze collega's nog beter te binden zodat we de maatschappelijke vragen over milieu en gezondheid kunnen koppelen aan praktische oplossingen met objectieve, slimme sensorsystemen, en dit uiteraard kunnen overdragen aan onze studenten, gelukkig ook hier in de zaal. Het gaat dus om hoe kan je objectief meten en deze metingen omzetten in automatische handelingen of handelings- en leefstijladviezen.



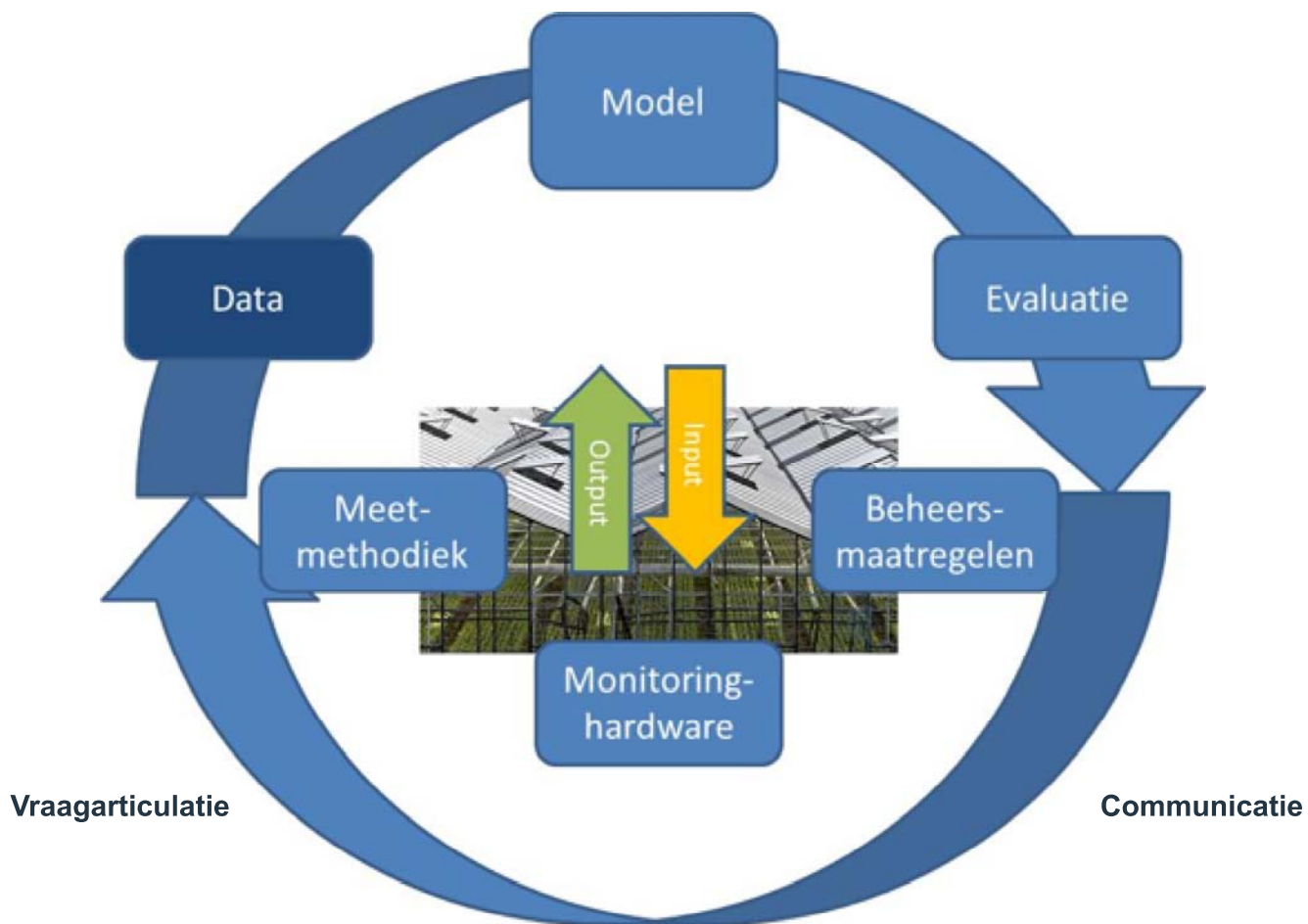
Wat is de stand van zaken?

Sensoren en sensorsystemen

Mijn lezing heet Voorkomen door voorspellen, weet wat je meet. En ik ga jullie meenemen door de wereld van de sensoren. In **Figuur 1** staan meetinstrumentjes voor het meten van gassen en geluid. Die zijn klein, maar je ziet vooral dat ze al kleiner worden. Zo klein dat je ze amper op je vingers kunt houden. Het leuke daarvan is, is dat je ze dus ook heel draagbaar kunt maken. En dat je ze kunt verwerken in kleine apparaatjes die je bij je kunt dragen. Die je kunt dragen op het lijf maar die je ook bij je kunt dragen, je kunt ze neerzetten, hele grote. Je kunt ze kleiner maken, mobiel. Je kunt ze op het lijf dragen, je kan ze in je kleding verwerken en je kan ze in je lichaam verwerken. Al deze dingen zijn dingen waar wij ons op richten. En we gebruiken dat natuurlijk als sensorsysteem. En dat is de naam van onze groep, groep Smart Sensor Systems. Een smart systeem is een systeem dat kan waarnemen, dat kan verwerken en dat dan ook kan reageren. In het geval van de mens geeft het een tip aan je, denk bijvoorbeeld aan de sensoren waarmee je je hartslag meet met je smartwatch. En die dan aangeeft: je hartslag is nu dit, misschien moet je minder gaan rennen, want je overbelast jezelf. Dat is een typisch klein smart sensor systeem voor de mens, maar in grotere gevallen zie je in **Figuur 2** een voorbeeld van een kas. Een van de dingen die ik dan nog even wil benadrukken is dat je natuurlijk alles kan meten, 't is heel erg makkelijk, want die sensoren zijn klein, die sensoren zijn goedkoop en die kan je overal plaatsen. Maar 't is niet makkelijk om het te verwerken. Dus één van de belangrijkste dingen in deze kringloop is: stel de goede vraag. Bedenk daar de juiste meetmethodiek bij, ga dan pas je data verzamelen. En modelleer dat, kijk of het klopt, en onderneem actie, of in geval van een mens: communiceer dat duidelijk terug. Risicocommunicatie is trouwens een vak waar nu een PhD student van me op werkt. En op basis van die actie observeer je weer, en ga je weer door de kringloop. Dat maakt een smart sensor systeem. Wat jullie zien is een voorbeeld van de kas, dat is een van onze grootste projecten en dat komt later aan bod.



Figuur 1 Diverse sensoren die al kleiner en goedkoper worden, en daarmee draagbaarder.

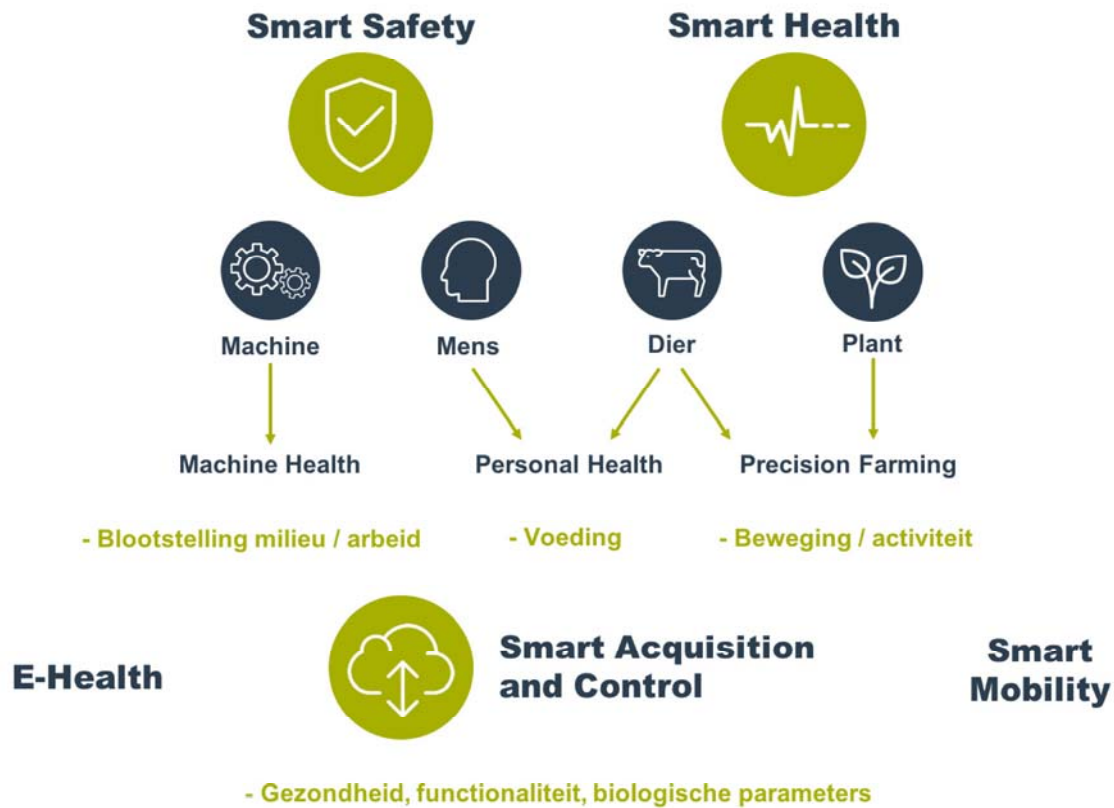


Figuur 2 Typisch smart sensor system.

Waar houdt het lectoraat zich mee bezig?

Wat doen we? We hebben eigenlijk drie richtingen, zie [Figuur 3](#). We hebben Smart Safety, Smart Health en Smart Acquisition and Control.

En de eerste twee doen eigenlijk hetzelfde. Ze hebben een andere doelgroep, de ene richt zich meer op machines, Machine Health, de andere op mensen, dieren en planten. Dat noem je dan over het algemeen Smart Health. Mensen horen ook een beetje bij Smart Safety, want dat gaat vooral over arbeidsomstandigheden. En je ziet ook, daar zijn allemaal namen voor, als je het over levende wezens hebt, dan heb je het over Personal Health, doe je dat bij planten dan is het opeens Precision Farming, maar eigenlijk is het dus allemaal hetzelfde. Waar het om gaat, “Smart” heeft nog een andere betekenis, het levert “maatwerk”. Dus het geeft de unieke situatie dat je één machine heel erg goed kunt bemeten, of je kan één mens heel erg goed bemeten, persoonlijke gevoeligheid vaststellen, of één beest, bijvoorbeeld bij koeien gedaan. Maar je kan het ook bij één plant doen. Bijvoorbeeld bij een tomatenplant. Is deze plant er nog goed aan toe, of moeten wij hem verwijderen of bemesten? Dingen die ook echt gebeuren. Wat moet je eigenlijk weten, van al deze onderdelen, van al deze doelgroepen? Hetzelfde! Je wilt weten wat de blootstelling is van de mens, bijvoorbeeld aan chemische en fysische agentia. Dus denk daarbij aan fijnstof, denk aan geluid, denk aan UV. Je wilt weten wat hun voeding is, en voeding is alles wat je vrijwillig tot je neemt. Dus daar zit ook drinken bij en ook sigaretten, en drugs, alles wat je zelf tot je neemt, heeft namelijk invloed op wat je gezondheid wordt. En natuurlijk de activiteiten die je onderneemt. Nou wordt dat vaak verward met beweging, bewegen is een activiteit maar slapen is ook een activiteit. Goed slapen betekent ook een betere gezondheid. Goed bewegen leidt tot een betere gezondheid. Veel bewegen leidt tot een slechtere gezondheid. Trouwens. Dat moet je allemaal samenvakken, daar kun je dan een model bij maken. Dat zit heel erg in Smart Acquisition and Control. En we kijken naar gezondheid. Gezondheid is natuurlijk een moeilijk meetbaar ding, en dat gebeurt vaak met vragenlijsten, bijvoorbeeld: hoeveel pijn heb je? Maar dat gaan we almaar meer objectiveren. Je kunt ook al meer meten aan het lichaam. Nu gaat dat vaak nog op functionaliteit: hoe hoog kan ik mijn arm bewegen? Of op biologische parameters zoals: hoe hoog is mijn hartslag? Of wat is mijn bloedsuikerspiegel? Je kan het allemaal beter meten. Dat is ook een van de belangrijkste ontwikkelingen met smart sensor systems. Je hoeft het niet meer te vragen, je hoeft geen vragenlijst af te nemen bij mensen. Je hoeft ook niet een persoon naar machines te laten kijken. Maar je kan dat dus echt automatiseren. En objectiveren vooral. En dat geeft betere modellen, en dat geeft de mogelijkheid om gezond te blijven. En ongelukken te voorkomen. En vandaar: voorkomen door voorspellen.



Figuur 3 Het lectoraat Smart Sensor Systems heeft drie onderzoekslijnen: Smart Safety, Smart Health en Smart Acquisition and Control.

Dan hebben we nog twee richtingen. De ene popte op, dat is Smart Mobility. Wat als je kijkt naar activiteit en beweging, maar ook als je kijkt naar welke planten je moet bemesten, dan is het ruimtelijke aspect heel belangrijk. En ook het bemeten met mobiele voertuigen. En zo zijn we eigenlijk verward geraakt in Smart Mobility. En dat is ook een van de allergrootste componenten van dit lectoraat en gaat ons LearningLab Urbinn over. Daar kom ik ook nog op terug. Ook omdat bijvoorbeeld de zelfrijdende auto het ultieme Smart Sensor System is. Wat ik al zei, bij die zelfrijdende auto wordt de beslissing genomen: rem af, ontwijk. Bij mensen moet je dat op een andere manier doen, en dat noemen we E-Health. Dat kun je ook gebruiken om gezondheidsschade te voorkomen. Bijvoorbeeld in de vorm van early warningsystemen.

Ik ga jullie nu meenemen door wat nu zo'n beetje de stand van zaken is op deze gebieden. En dan komen wij straks ook bij wat wij doen in dit hele mooie lectoraat. Jullie hebben al een deel gezien buiten, we maken zelfrijdende prullenbakken, zelfrijdende auto's, we hebben zelfrijdende rolstoelen, we hebben nog veel meer.

Maatschappelijke inbedding

Ook om jullie even mee te nemen, dit hebben wij nu bedacht, maar is daar wel een beetje behoefte aan? Nou, we hebben een nieuw regeerakkoord (Rijksoverheid, 2017), en ja, preventie wordt eindelijk weer echt genoemd in dat regeerakkoord. We hebben een preventieakkoord, we hebben preventie, gezondheidsbevordering, innovatie, kwaliteit van leven, wordt echt genoemd. En we hebben ook een staatssecretaris van preventiezaken, Blokhuis. Dat is heel fijn, want dat betekent dat het in de spotlight staat. Mobiliteit is helemaal iets wat veel genoemd wordt in dat regeerakkoord. En dan wordt er ook verwezen naar dingen als luchtkwaliteit, dat het schoner moet zijn. En dat is iets wat ik ook heel erg graag verknop met het RIVM-werk. En dan kom je dus ook uit op, waar doen wij dit voor. Nou, onze speeltuin is eigenlijk een slimme en gezonde stad. Er daar zijn grote programma's over, vanuit het rijk. Je hebt Agenda Stad (www.agendastad.nl), je hebt slimme en gezonde stad (www.slimmeengezondestad.nl), en zoals je daar ziet, het gaat over het bemeten van de luchtkwaliteit en geluid en blootstelling van mensen. Het gaat om omgevingskwaliteit. Het gaat om het maken van gezonde gedragskeuzes. Waar ook weer E-Health naar voren komt. En het gaat over verkeer en vervoer. We sluiten dus uitstekend aan bij de maatschappij, en we hopen daar ook een grote bijdrage aan te kunnen leveren. We sluiten ook uitstekend aan bij de MRDH (Metropoolregio Rotterdam – Den Haag). Ik zei net al, we kijken ook naar kassen, en naar gezondheid van planten, we zitten hier in het Westland.

Smart Safety

En het is allemaal in het Engels, die woorden natuurlijk. Maar het gaat over gezondheid van machines, en over gezondheid van mensen en dat vooral in arbeidsomstandigheden. Jullie zien hier al een plaatje van een meneer in een rood uniform met allerlei beschermingsmaatregelen en met meetinstrumenten. En dit zijn nog vrij grote meetinstrumenten, want deze meneer is bezig om een machine door te meten. Om te kijken: is die machine gezond en moeten we nu al onderhoud plegen? Want er zit een soort optimum in, in smart maintenance, om een machine gezond te houden zou je hem elke maand kunnen smeren. Maar misschien is drie maanden ook wel genoeg. Dat optimaliseren en modelleren, dat noem je Machine Health. Voorkomen dat hij vastloopt. Door modellen te maken. Maar ook, deze mensen moeten ook zichzelf beschermen. En er zijn allemaal mooie nieuwe dingen die je kunt doen met sensoren. Je kan gas detecteren. Want dat kan je doorgaans helemaal niet ruiken, Aardgas kun je ook niet ruiken, daar wordt gewoon een geurtje aan toegevoegd. Maar methaangas in een fabriek ruik je dus echt niet. Dat is echt gevaarlijk. En als je in een elektrolysefabriek staat, waar je waterstofgas hebt, dat ruik je helemaal niet. Dat is ook echt gevaarlijk met het oog op ontploffingen of onwel worden van de werknemers. Dat kun je dus allemaal meten. Mensen kunnen meetinstrumentjes dragen. Ook kan je early warningsystemen opzetten, mensen kunnen augmented reality gebruiken, dat zijn gewoon slimme brillen, een soort Google Glass, waar mededelingen op komen. Je richt ergens op, een machine, daar komen meteen mededelingen over: hier is de handleiding, deze moet je eerst uitzetten, hier mag je helemaal niet bij in de buurt komen. Het is een wereld van mogelijkheden die we aan het exploreren zijn. En waar dat helemaal samenkomt, zoals altijd: het leger. Dat heeft een groot budget, en dit is een plaatje ([Figuur 4](#)) dat ik heb gevonden bij het Amerikaanse leger.



Figuur 4 Amerikaanse soldaat uitgerust met diverse smart sensorsystemen om blootstelling en lichaamsparameters te monitoren, overgenomen van www.ecbc.army.mil.

En dan zie je wat voor mogelijkheden er allemaal zitten om een mens te bemeten. En hoe je dat ook zou kunnen toepassen in het dagelijkse leven. En je ziet al, die eyewear, dat is eigenlijk augmented reality, alle metingen die gedaan worden, die verschijnen daar in allerlei opdrachten. Iets wat je bij een onderhoudsmonteur dus ook heel goed kunt gebruiken. Je hebt ook dingen als smart textiles. Sensoren die heel dicht op je huid zitten, zodat ze heel goed kunnen meten en toch een optimaal draaggemak geven. Iets waar we ook naar aan het kijken zijn in dit lectoraat. Wat ze hier smart keychains noemen, dat zijn eigenlijk allerlei apparaatjes die je aan je broekriem kunt hangen, of aan je gordel of zelfs in je zak kan steken, die omgevingsparameters meten. Geluid en fijnstofmeters, heel belangrijk. Ook voor zo'n militair, want ze willen wel weten of hij wordt blootgesteld aan gifgassen. Maar ook simpelweg of dat hij niet verbrandt. Want je wil zo'n militair gezond houden, anders heb je niks aan hem. Met smart tattoos ga je langzaam toe naar dingen die je in je huid zet. Iets wat wij hier bij het lectoraat ook proberen te doen. Echt meters in het lichaam brengen.

Smart Health

En natuurlijk de al vele wearables, daar zijn jullie al bekend mee, want heel veel mensen hebben een smart watch. Waar je ook je hartslag op kunt afmeten. Hoeveel stappen je hebt genomen, al dat soort dingen. Hele interessante informatie, om je eigen gezondheid te testen. Om nog wat in te zoomen, ik zei net fijnstof en geluid worden gemeten, je hebt hele simpele meetinstrumentjes. Ze zijn erg goedkoop, iedereen kan ze op internet kopen. Bedenk dat zo'n fijnstofmetertje honderd euro is, daar kun je mee rond gaan lopen en dan krijg je een vrij goed resultaat. En wat je nu ook ziet, dat is wat het RIVM met een open dataportaal (samenmeten.rivm.nl) probeert te doen, er zijn mensen die gaan meten. Er zijn hele projecten van mensen die gaan meten. Hele groepen, en hele steden waar het wordt uitgezet. En dat soort samenwerkingen samen met burgers meten of data interpreteren, dat noem je citizen science.

Soms wordt het gebracht vanuit een universiteit, zoals de Radboud in Nijmegen, die een Smart Emission project (smartemission.ruhosting.nl) heeft opgezet. Een mooi overzicht van dergelijke citizen science initiatieven staat op de RIVM website www.samenmetenaanluchtkwaliteit.nl. Die hebben gezegd: Wil jij weten wat jouw blootstelling is aan geluid en aan fijnstof? Hier heb je een meetpaaltje, dat zetten we in je tuin, dan hangen we het aan je wifi, dan verschijnt je gemeten luchtkwaliteit en geluidsniveau op de kaart, en dan zie je hier zo'n kaartje. Dus je krijgt allemaal informatie over je leefomgeving, en Citizen Science is dus ook iets wat nu al heel goed kan. Mensen kunnen zelf hun omgeving bemeten, en dat geeft ze de mogelijkheid ook om te interpreteren wat er in hun omgeving gebeurt. En een instituut als het RIVM wil ze daar graag bij helpen, want die hebben veel kennis. Maar ook instituten als De Haagse Hogeschool, en zeker in deze technische faculteit, willen mensen best helpen met hoe je dat soort meetinstrumenten kunt maken. Of gemeentes, die hebben ook belang dat de meters het juiste weergeven. Maar bedenk, dit is een grote ontwikkeling. En waarom noem ik hier nu fijnstof en geluid? Fijnstof is typisch iets, net in het gezondheidsrapport (Gezondheidsraad, 2018) van deze maand gekomen, daar sterven per jaar 12.000 mensen aan. Vervroegd, en dat kan je echt een levensduur kosten van twaalf maanden. En dan hebben we het nog niet eens over de schade die het verder toe brengt. Wij zitten hier in Nederland nog niet zo hoog als in China, waar je echt letterlijk de zon niet meer kunt zien af en toe. Nee, maar in Europa is Nederland wel een van de landen, met de meeste fijnstofvervuiling. Een dingetje om aan te werken. In ieder geval een dingetje om te meten en mensen van persoonlijk advies te kunnen voorzien. "Dit is jouw persoonlijke gevoeligheidscurve, en bij deze meting van fijnstof zou ik de deur niet uit kunnen gaan.". Een van de toepassingen. En wat ik al zei: je kunt ook zelf je gezondheid meten. Er zijn ongelooflijk veel apps om dat te doen, en er zijn ook ongelooflijk veel kleine meetinstrumentjes om lichaamsfuncties te kunnen meten. Natuurlijk, je hebt de stappenteller, en de teller hoe vaak je je arm hoog optilt, wat je hartslag is, maar je kunt inderdaad bloedglucose meten, ook allemaal handig bij mensen die een bepaalde aandoening hebben. Want wij kijken wel naar gezond blijven, maar je bent ook wel gezond als je een aandoening hebt, bijvoorbeeld reuma, of als je een aandoening hebt als COPD, en je gewoon kunt functioneren. En we willen graag dat dat zo door kan blijven gaan.

Dit soort meetinstrumentjes die je aan iemand hangt, die zijn echt geweldig. En mensen gebruiken het natuurlijk ook weer zelf, om van alles in kaart te brengen. Meldingen die op sociale media staan: “Ivo heeft zojuist weer 6 km gerend. En dat in 50 minuten. Dat kan beter Ivo.”. Daar zijn allerlei applicaties voor, en ik vind het schitterend. Ik denk vooral aan voeding en gewicht, dat zijn helemaal dingen die natuurlijk veel gemeten worden. Maar je moet er ook nog wat mee. Je moet al die data die je verzamelt ook verzenden, die moeten naar je database.

Internet of Things en terugkoppeling

Wat ik net al zei, je wilt ze op Facebook hebben, dan moeten ze wel vanaf je smart watch via Internet of Things, via je telefoonlijn, via wifi, via bluetooth naar een andere server toe. Dat geeft heel veel dataverkeer. Het dataverkeer in Nederland is al bijna verdubbeld sinds er gratis of onbeperkt datatransport wordt aangeboden door diverse telefoonoperators. Daar is een infrastructuur voor nodig. En ook die infrastructuur is iets waar we typisch naar kijken. Het kan niet allemaal over de telefoonlijn, het kan met wifi, het kan met lora-netwerken. En dat is in bedrijven weer anders dan dat jij het in huis gebruikt. Maar basicly: het is allemaal hetzelfde, het is allemaal nodig. En je moet kijken, dan refereer ik even naar wat onze CvB voorzitter hiervoor in het minisymposium heeft gezegd: je moet ook kijken naar de data security. Hoe stuur je nu al die spullen over zonder dat het gehackt wordt, afgepakt wordt of verkeerd aankomt? Dat zijn interessante dingen. En als je daar dan in slaagt, kom je bij de terugkoppeling. Dan gaat het in een of andere app. En er zijn dus 259.000 gezondheid apps (de Volkskrant 3 januari 2018). Veel succes met de juiste kiezen. En misschien moet het ook niet zo algemeen, misschien moet het ook allemaal veel meer getweakt worden op een persoon. Allemaal dingen die kunnen, omdat die sensoren zo goedkoop zijn. Persoonlijke gezondheidscurves. Ik kom er zo op terug.

Smart Farming

En we hebben niet alleen mensen maar we hebben ook planten. Is dat nou interessant, een beetje tomatenplantjes meten? Ja, de agrifoodsector is een waanzinnig grote high tech sector. En je moet je voorstellen, wat wij allemaal nog een boer noemen, en soms ook een agrarisch ondernemer wordt genoemd, is soms zelfs een halve data-analist. Of heeft een voltijds data-analist in dienst. Want wat er gebeurd is, en dit is in een tomatenkas, je zet allemaal sensoren in een tomatenkas neer en meet: wat is de temperatuur, wat is de luchtvochtigheid, wat is de belichtingsgraad, maar ook, waar zit de tomatenplant nu in zijn groeiproces? Hoe breed is de stam? Dat meet je met een kopdiktemeter, die wij nu ontwikkelen. Er zijn zo ontzettend veel dingen die je kunt meten en die je op elkaar af moet stemmen. En dat gebeurt ook allemaal draadloos zoals je ziet. En het wordt verwerkt, en het moet teruggekoppeld worden naar de boer die een beslissing neemt. En in sommige gevallen gebeurt dat automatisch. Dat is echt een hele grote booming business. Maar het is nog mooier natuurlijk, want als je op het land bent, dan heb je tractoren die moeten rondrijden. En als ik je nou vertel, een gemiddelde auto kan met zijn gps-signaal en telefoonmasten, met correcties die gemaakt worden door Google Maps, bijvoorbeeld, tot 20 - 30 centimeter nauwkeurig bepalen waar hij is. Nou, dat is niet genoeg voor landbouw. Dat gaat tegenwoordig zo precies, dat ze precies daar bestrijdingsmiddelen willen spuiten, of precies daar voeding spuiten, dat ze het echt op 3 cm nauwkeurig willen doen. En dat lukt door het combineren van allerlei sensortechnieken. Door IoT-netwerken te combineren, met radiobakens, met vision. Je brengt 't gewoon in kaart met een kleine drone: hoe is mijn land eraan toe op basis van infraroodmetingen. Je ziet allemaal stipjes op het kaartje en heel lokaal moet het allemaal anders toegepast worden. Dat kan, dat is hartstikke mooi. En wij kijken dus vooral naar hoe het in kassen gaat. En dat wordt helemaal geautomatiseerd. 30% van alle nieuwe landbouwvoertuigen is zelfsturend. Dus echt zonder bestuurder en tot op 2 - 3 centimeter nauwkeurig.

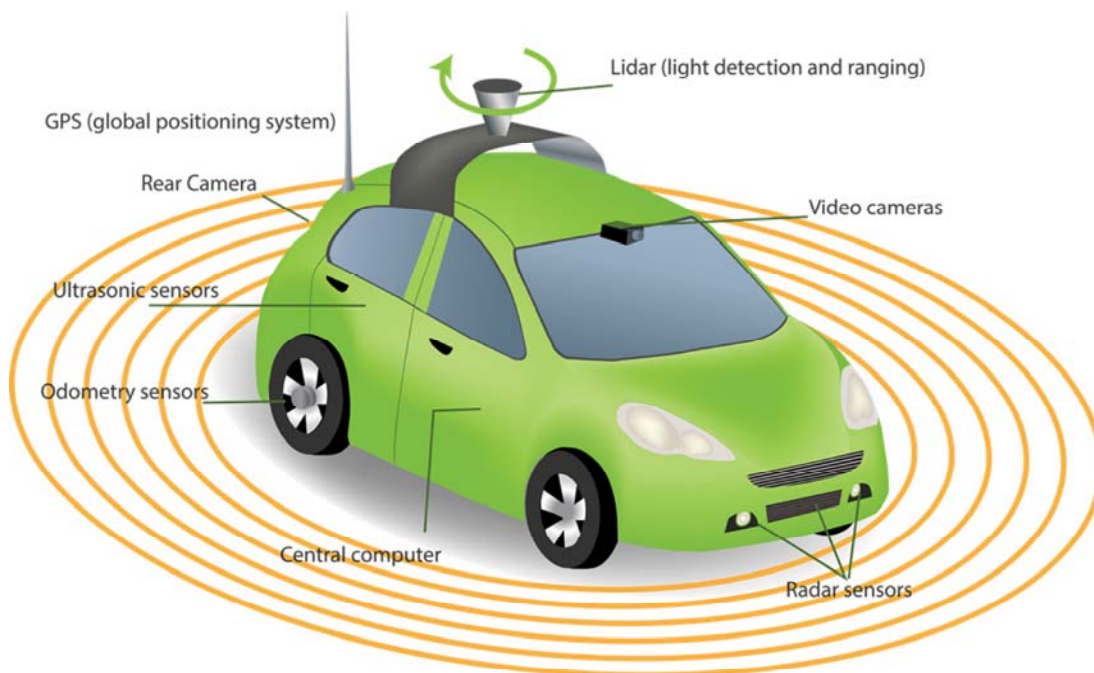


Figuur 5 Voorbeelden van precision farming. Boven: met sensoren, IoT en terugkoppeling in de kas.

Onder: een gedetailleerde kaart maken van het land met sensoren op een drone zodat een zelfsturende tractor het land tot op de decimeter kan bewerken.

Zelfrijdende voertuigen en omgevingsinterpretatie

Dan komen we vanzelf bij de auto en dit is het ultieme Smart Sensor System (Figuur 6). En daarom zijn wij hier ook heel erg mee bezig. Wat ook het geval is als je zelf kijkt: een auto moet in eerste instantie weten hoe zijn omgeving eruit ziet. Er zit een lichtradar op, die staat op het dak in dit geval. En die kijkt gewoon, hoe ziet de omgeving eruit. Er zit natuurlijk vision op. Er zitten akoestische sensoren op. En die zijn heel belangrijk, want denk eens even aan die Tesla die zich te pletter reed op een witte vrachtwagen. Die zag namelijk geen onderscheid tussen de witte vrachtwagen en de witte zon die er vrolijk langs scheen (Tesla Team, 2016). Een akoestische sensor ziet dat. De kracht zit hem altijd in het combineren van die sensoren, de sensorfusion. Een groot deel wat wij hier doen. Maar dan komt weer de onvermijdelijke interpretatieslag in Figuur 7.



Figuur 6 Een zelfrijdende auto.

Wat je links (in Figuur 6) ziet, is het dashboard en dit is echt het dashboard van de toekomst. Ik weet dat hier de TU Delft aan werkt, de Delftse professor Gavrila kijkt ernaar, naar intelligent vehicles (intelligent-vehicles.org). En die kijkt bijvoorbeeld naar, wat is nou de juiste afstand? Ik zie een voorwerp, op welke afstand staat dat, moet ik gaan remmen of bijsturen? Wat voor voorwerp is dat eigenlijk, is dat een auto of fiets? Want die gaan allemaal anders reageren. Een auto zal zich misschien nog wel aan de verkeersregels houden. Maar fietsers duidelijk niet. En dat zie je ook op het rechter plaatje.



Figuur 7 Omgevingsinterpretatie (semantic mapping) voor een zelfrijdende auto.

Links: dashboard, rechts: bovenaanzicht van een verkeerssituatie met verscheidene typen weggebruikers.

Als je er al in geslaagd bent om de hele weg in kaart te brengen, dan zie je wat er allemaal komt kijken. Auto's links en rechts, je kan niet uitwijken, er zijn kwetsbare verkeersdeelnemers, zoals voetgangers. Die mag je niet dood rijden, zelfs al lopen ze door rood. Heel vervelend, je moet er allemaal rekening mee houden. Dit is een van de moeilijkste dingen. Zo'n landbouwvoertuig, dat het lukt dan inmiddels. Maar als je zo op de weg bent en rekening moet houden met andere weggebruikers, die niet geautomatiseerd zijn. Soms beesten, katten, honden, vogels, die daar ook gewoon zijn. Dan is dat niet eenvoudig, maar wel iets wat mogelijk is. En waarvan we in ieder geval vermoeden dat het in 2030 gebeurd is. En de eerste proefritten ook al echt in de stad zullen plaatsvinden binnen vijf jaar. En dan kom je nog wel voor een paar interessante dilemma's. En MIT heeft er een hele leuke quiz van gemaakt, een moral machine (<http://moralmachine.mit.edu/>). En dit geeft gewoon weer, wat moet je nou doen, hoe moet je zo'n automatische auto gaan programmeren om een beslissing te nemen. Want dat kan op twee manieren: bescherm je altijd de inzittenden of de medeweggebruikers? Bijvoorbeeld: er komt een auto aanrijden, er staat een obstakel op de weg, hoe dat daar komt doet er niet toe, maar als je er tegenaan rijdt, zijn ze dood. Alle inzittenden. Maar ja, wat zou jijzelf doen, misschien zou jij al die mensen op straat doodrijden, want dan leef je tenminste zelf nog. Maar als het een zelfsturende auto is, kan dat wel, maar dan moet je zeggen, jij nam zelf de beslissing om in een zelfsturende auto te gaan zitten. De consequentie is dat wij wettelijk verplichten om altijd de omgeving te beschermen, in dat geval zou hij zich automatisch te pletter rijden tegen dat obstakel. Dit is een afschuwelijk dilemma. We kunnen er ongelooflijk veel meer verzinnen, maar dit is niet iets wat dit lectoraat gaat oplossen. Maar we hebben dus nog wel een paar stappen te maken voor de zelfrijdende auto en de politiek ook.

Smart Acquisition and Control: begin met de juiste vraag te stellen

En als je nu al die data verzameld hebt, dan moet je er nog wat mee. Er zijn eigenlijk twee manieren van data verzamelen, een soort technology push en dan gaan data mijnen, of de juiste vraag stellen. We hebben nou toch al die sensoren, die kosten niks, we hangen ze gewoon overal op, en we gaan meten, dan zien we wel wat er uitkomt. Dat kan je doen. Dan ga je meten en je krijgt al die data, je moet dan wel, en dat is dan wel een nadeeltje, al die data cleanen. Want die sensoren zijn klein, ze zijn goedkoop, maar net zoals bij alle apparaten, ze doen niet altijd wat je ervan verwacht had. Ze gaan ook stomweg kapot. En dat is niet zo erg, want ze zijn niet zo duur. Dan vervang je ze gewoon weer. Maar als je heel veel sensoren hebt, dan heb je ook heel veel data. Dan moet je daar allemaal doorheen, om te kijken wat je eraan kunt hebben. En doorgaans gaat tachtig procent van de tijd zitten in het cleanen, het schoonmaken van de data. Oh, deze sensor was kapot, deze sensor was eigenlijk te oud. Dus wat je beter kan doen, vind ik, is niet beginnen met: "We gaan maar meten, we gaan het opruimen, en oh ja, hebben wij er nog een leuke vraag bij.": Het klassieke datamijnen. Je kan ook beginnen met de juiste vraag stellen. Het voordeel van de juiste vraag stellen, in de rechterkolom: dan pak je daarbij de sensoren van de kwaliteit die jij nodig hebt, op een rolstoel heb je andere sensoren nodig dan op een auto. Ze doen basicly wel hetzelfde, maar die auto rijdt iets harder, die sensoren moeten dus iets verder kunnen kijken en zijn dus iets duurder. Maar je kunt dus kiezen. Dan verzamel je data, een stuk minder data, dan hoeft je dus ook minder te cleanen, dan heb je ook veel minder kosten. Dat vind ik een groot voordeel. En dan, daar zijn we ook mee bezig, en daar werken we ook heel leuk samen met andere faculteiten, want dit is de Faculteit Technologie, Innovatie, en Samenleving, maar we hebben natuurlijk ook een Faculteit Informatie Technologie en Design en een Faculteit Voeding, Gezondheid en Sport. Daar willen wij ook allemaal mee samenwerken. Dus als je kijkt, wat willen we gaan doen, dan komt er toch nu een stukje deep learning bij kijken. Zeker bij zelfrijdende auto's. Je wilt objecten kunnen herkennen. Je ziet al, dit is een klein schema, al die kleine bolletjes die je ziet, dat zijn computer nodes, en die krijgen allemaal een ander taakje. Dus je stopt er waarnemingen in, dat zie je daar links, dat is dat driehoekje. En hij is getraind met allerlei vormpjes, en hij moet bepalen, wat is het. Een driehoekje! Nou klinkt dit heel simpel, maar stel je voor: ik stop er allemaal weggebruikers in, de computer herkent, dat is een fietser, dat is een voetganger, dat is een auto, heel nuttig en dat moet ook heel snel. Het gaat dus om enorme volumes aan data maar ook om een grote variëteit van data. Drie of vier verschillende sensoren, en dan moet het ook nog met een grote snelheid, Velocity, Volume en Variety de 3 grote V's van big data. Maar wat je soms ook doet is predictive analysis. Je wilt bijvoorbeeld voorspellen wat iemand zijn persoonlijke gevoeligheidscurve is. Dan heb je vaak veel meer data die iets minder snel verwerkt moet worden. Het kiezen van de juiste analysetechniek is ook nog een ding. Ik ga jullie meenemen in hoe je zulke dingen doet.

Weet wat je meet

Een praktijkvoorbeeld van data verzamelen in epidemiologisch onderzoek

Ik heb al gezegd, ik werk ook bij het RIVM, en ik ben naast natuurkundige ook nog epidemioloog, en ik ga jullie nu een stukje laten zien van wat ik daar gedaan heb. Om aan te tonen dat, meten kan je doen, en data verwerken ook, maar je moet nog wel nadenken over wat je meet. En waarom je het meet. Klassiek epidemiologisch onderzoek gaat met vragenlijsten. We willen bijvoorbeeld weten waarom de ene bevolkingsgroep vaker ziek is dan de andere. Wat je dan doet, je neemt allemaal mensen met dezelfde persoonskenmerken, leeftijd, geslacht, woonplaats, sociale economische status. Je neemt zieke mensen, en die ga je vergelijken met een groep mensen die dezelfde parameters heeft, maar die niet ziek zijn. En dan ga je kijken waar dat aan ligt. Aan welke blootstelling dat zou kunnen liggen. Dus je gaat blootstellingsdata verzamelen, je gaat allemaal metingen doen. Als je dat gedaan hebt, dan zou je een predictiemodel kunnen bouwen. En dat model is dan bijvoorbeeld gebaseerd op de activiteiten die iemand onderneemt en de voeding die hij tot zich neemt, je kunt er van alles bij verzinnen. Als je het maar wel hebt gemaakt, dan hoeft je alleen nog maar te vragen, hoeveel heb jij gerend, hoeveel heb je gefietst, hoeveel heb je gegeten en wat. En was je ziek of hoe voelde je je? En dan kunnen we daar een onderzoek op doen. Maar je kan je voorstellen, dit is dus heel subjectief. Want als ik u nu vraag, hoeveel koppen koffie heeft u gedronken, dan zegt u twee. Maar als ik dat gefilmd had, dan was het een kop koffie en een kop thee. Dat is helemaal niet erg, maar het is heel moeilijk om te onthouden. En ook als ik nu vraag, “Heb je hoofdpijn?”, dan zal de een zeggen, “Ik heb verschrikkelijke hoofdpijn”, en diegene ernaast met net zoveel hoofdpijn, maar die kan er een beetje beter tegen, die zal zeggen, “Het valt wel mee.”. Probeer daar maar eens een mooi onderzoek van te maken. Dus het streven is, kunnen we dat nou niet allemaal objectiveren. Het CBS is typisch zo'n instantie die heel veel vraagt, en dat ook heel graag wil objectiveren. Daar gaan we ook mee samenwerken. Ik neem jullie even mee in het meten. Stel je voor, je kunt iemand behangen met sensoren.

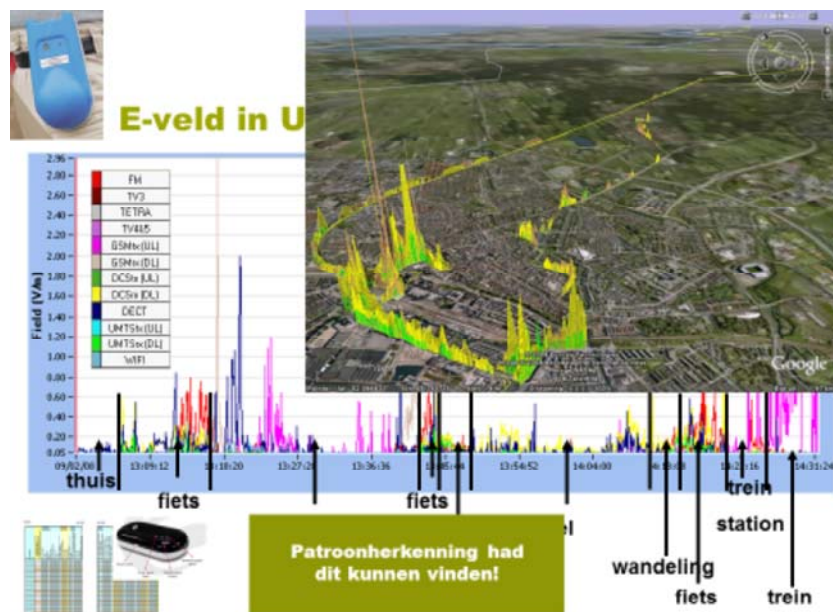
En in **Figuur 8** zien jullie eigenlijk vrij lompe sensoren, deze zijn voor radiofrequente velden, dat zijn gewoon alle velden die je krijgt van radio- en televisiezenders, van mobiele telefonie, van mobiele telefoontjes, van wifi, verzin het maar.



Figuur 8 Een typische meetset van draagbare sensoren bij onderzoek naar blootstelling aan radiofrequente elektromagnetische velden zoals uitgevoerd bij het RIVM (Bolte en Eikelboom, 2012).

Die kan zo'n blauwe meter meten. Dit is nog een vrij lomp ding, tegenwoordig is hij alweer vier keer kleiner, zo snel gaat dat. De andere meter geeft weer, wat de laagfrequente magnetische velden zijn. Wat zijn dat eigenlijk? Alles waar een stekker aanzit, daar zit een magnetisch veld aan. Het RIVM meet dat door proefpersonen een meetset mee te geven (Bolte en Eikelboom, 2012): een radiofrequente veldsterktemeter, een laagfrequent magnetische veldsterktemeter, een gps, een digitaal horloge en een papieren dagboek. Een gps is handig, dan weet je waar de proefpersoon was, dat is allemaal handig voor de plaatselijke verschillen. En is dat een papieren dagboek? Ja, want papier doet het altijd. Groot voordeel, het is eigenlijk vaak beter dan elektronisch. We gaan eens kijken wat je dan meet, nou, dat zie je in **Figuur 9**.

En wat je ziet, dit zijn twaalf verschillende frequentiebanden, die komen van verschillende bronnen, daarom zie je allemaal verschillende kleurtjes en allemaal uitslagen. Is daar nou wat chocola van te maken, als ik dit allemaal heb gemeten. Want wat ik zei, je zou willen weten, welke activiteiten heb je ondernomen, heb je gefietst, of heb je gelopen? En als ik dan later alleen vraag aan iemand, "Hoeveel uur heb je gefietst?", dan kan ik er op basis van deze metingen een blootstelling aan koppelen later in het model.

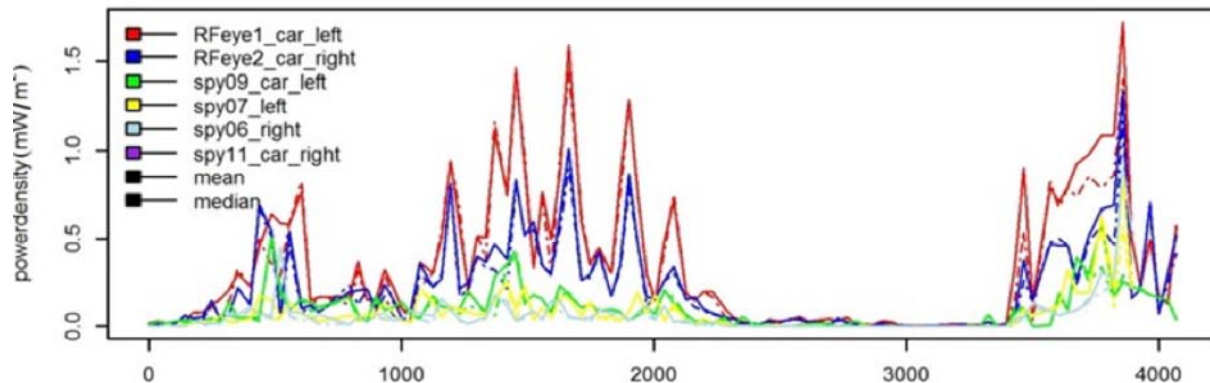


Figuur 9 Uitkomsten van metingen aan velden van mobiele telefoniemasten (GSM800, GSM1800, UMTS2100). Alleen de velden hoger dan 0,05 V/m zijn weergegeven in Google Maps. Er zijn duidelijke ruimtelijke verschillen in veldsterkte: op het platteland rijdt je afwisselend door een hoofdstraalrichting van een bundel, in de stad ben je vrijwel overal blootgesteld boven 0,05 V/m.

Lukt dat? Ik zie op het oog dat dit allemaal verschillende activiteiten zijn. Ze hebben een andere menging van frequentie, een andere uitslag, een andere vorm van grilligheid. Het leuke is, tegenwoordig zou je dus met machine-learningtechnieken die patronen kunnen herkennen. Dat kon destijds nog niet, dit is acht jaar oud onderzoek. We hebben de activiteiten gelabeld, want we wisten uit het dagboek wie wat wanneer gedaan had. En dan krijg je dit. Dat is mooi, want daar kun je gemiddelden over uitrekenen. En als je de gemiddelde blootstelling weet, bij het fietsen of bij het winkelen, kun je aan de hand van de vragenlijst bij een latere groep, over wat ze deden, en deze gemiddelde blootstelling, reconstrueren welke blootstelling hij of zij waarschijnlijk had. Ja, er natuurlijk van uitgaand, dat die fietstochten heel erg op elkaar lijken. Daar kom ik nog op terug. Maar ook, dit is in de tijd gemeten, en van sommige dingen kun je toch niet zo goed zien waar het vandaan komt. Dus je moet er ook nog wat mee doen. Je hebt de gps-gegevens, dus je kan het mooi in Google Earth plotten. Want je ziet dus Utrecht, daar helemaal in het noorden is RIVM, en daar fietste ik vandaan, en ik fietste naar het centraal station in Utrecht. Je ziet als je bij het RIVM bent, dat is in Bilthoven, daar heb je nogal wat telefoonmasten, want dit zijn gegevens van telefoonmasten en de blootstelling. Fiets je over het platteland, dan kom je af en toe eens door de zender heen, door de hoofdbundel, dat zie je ook weergegeven. En in de stad ben je eigenlijk altijd blootgesteld. Het geeft je extra informatie. Visualiseren van data is altijd heel belangrijk. Konden we daar nu een voorspelling mee maken? Het ging niet helemaal goed. Je ziet al aan de ruimtelijke weergave in Google Earth, dat de blootstelling in het ene fietstochtje op het platteland, heel anders is dan de blootstelling tijdens het andere fietstochtje in de stad. Ook blijkt het uit te maken of je in de middag meet of 's nachts als iedereen slaapt en er minder gebeld wordt en dus ook de telefoonmasten minder zenden. En dat is vrijwel onontwarbaar voor een vragenlijst.

Meten is niet weten: ander opstelpunt, ander meetinstrument: andere meting!

En voor ik daar aan toe kom, er is nog niets als je gaat meten. Dat is acquisitie, dat is gewoon: hoe vergaar ik mijn data? Stel je voor, we hebben een test gedaan, dit ging over elektromagnetische velden, dus alles wat van radio en televisie afkomt en telefoniemasten. En we hebben gewoon allemaal antennes neergezet, op het dak van een auto, verschillende meetinstrumenten, die hebben we ook aan een fiets opgehangen (Bolte, 2016; Bolte et al., 2016), zoals je in [Figuur 10](#) kunt zien.



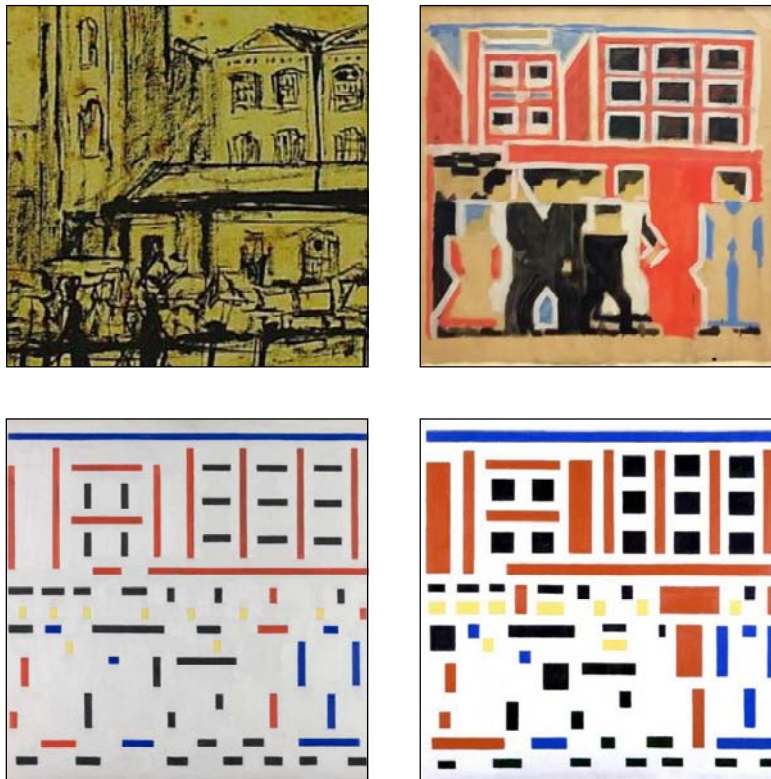
Figuur 10 Meten is niet weten: De verschillende metingen langs de route waar een auto en een fietser met 30 km/uur achter elkaar reden. Het hangt af van het type meetinstrument en van de positie van je meetinstrument en of dat in de schaduw van een voorwerp of een lichaam zit aan de heup van een fietser (spy07 en spy06) of op het dak van een auto (RFeye1 en RFeye2) (Bolte, 2016; Bolte et al., 2016).

En die fietser en die auto zijn met zo'n 30 km/h door een wijk gaan fietsen. En dan naast elkaar en kijken of je hetzelfde meet. Dan hebben we ook nog iemand rond laten lopen. Die meetcurves zouden dus allemaal hetzelfde moeten zijn want je meet toch het aanwezige veld, en dus over elkaar heen moeten liggen. Ik heb het hier geplot met de afstand, dus over de weg die we gevolgd hebben. Het is niet hetzelfde. Dus meten is niet weten! Een ander meetinstrument of een ander opstelpunt kan al een andere meting geven. Misschien omdat het veld daar echt anders is, misschien omdat je meetinstrument op een andere manier beïnvloed wordt door de omgeving. Het staat bijvoorbeeld in de elektromagnetische schaduw van een gebouw. Wat moet je hiermee, wat is nu waar? Dat is ook best wel ingewikkeld, wat waar is. En misschien is dat ook wel niet per se het belangrijkste. Het gaat er misschien ook wel om, wat je wilt weten. Van iemand. En hoe precies je dat wil weten.

De essentie van de waarneming volgens Bart van der Leek

Om je eens mee te nemen, wij zijn niet de enigen die dit probleem hebben. Want er was hier een hele goede Nederlandse schilder, Bart van der Leek, die hele mooie schilderijen en hele mooie tekeningen heeft gemaakt en trachtte de essentie van de waarneming weer te geven.

Die kun je zien in het gemeentemuseum in Den Haag en deze serie van “Het uitgaan van de fabriek” in **Figuur 11** in het Kröller - Müller. Bart van der Leek tekende eerst een weergave van de werkelijkheid, dit is een weergave die je nog wel herkent.

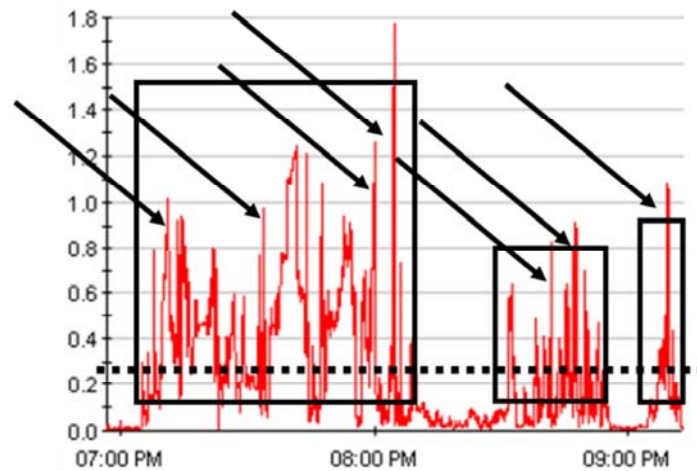


Figuur 11 Het uitgaan van de fabriek - door Bart van der Leek: vier verschillende weergaves te zien in het Kröller-Müller.

Dit is een tekening, dat is iets anders dan een foto. Maar je ziet hoe hij de werkelijkheid zag. Maar hij evolueert, en hij denkt, als ik nu dit stukje pak, dan kan ik daar nog wel een leuk schilderijtje van maken. En dan wordt het dit schilderijtje. Dus wat hij rapporteert, dat is wel een beetje anders dan wat hij in eerste instantie zelf had waargenomen. Je ziet wel dat er drie raampjes zijn daar, die heb je daar ook. Maar dat er dan 2×2 raampjes zijn, dat is niet helemaal waar. En al die mensen die er zijn, er liepen wel mensen, maar die liepen op een andere plek. Toch is dit de weergave. Is het nu waar of niet? Er waren mensen en er waren de raampjes, dus het is ook waar, maar het is niet helemaal precies. Maar het kan nog beter dacht hij, ik ga het helemaal stileren, en dan wordt het dit. Nou is de vraag, is dit dan wat je wilde waarnemen. Ik zie dat er nog steeds wat raampjes zijn, aan de andere kant, zijn er nu nog mensen? Het grappige is dat hij er zelf ook zo naar stond te kijken en uiteindelijk eindigde met het laatste plaatje. Iets, dat meer lijkt op dat plaatje wat er voor staat, en waar je iets beter dingen uit op kunt maken. Bedenk wel, die sensoren die wij gebruiken, dat zijn geen mensenogen. Ze zien dingen die wij niet zien, maar ze zien dingen ook vooral anders dan wij zien. Zij interpreteren dat anders. Misschien moet je wel bedenken, wat je hier links en rechts hebt, links is een slechte sensor waar je wat kenmerken van de omgeving mee meet, en rechts is een veel betere sensor. En dat daar links, dat moet je maar met allerlei computertechnieken reconstrueren. Want het is maar de vraag of je dat ooit terugvindt. Het is ook de vraag of dat je dat wilt terugvinden.

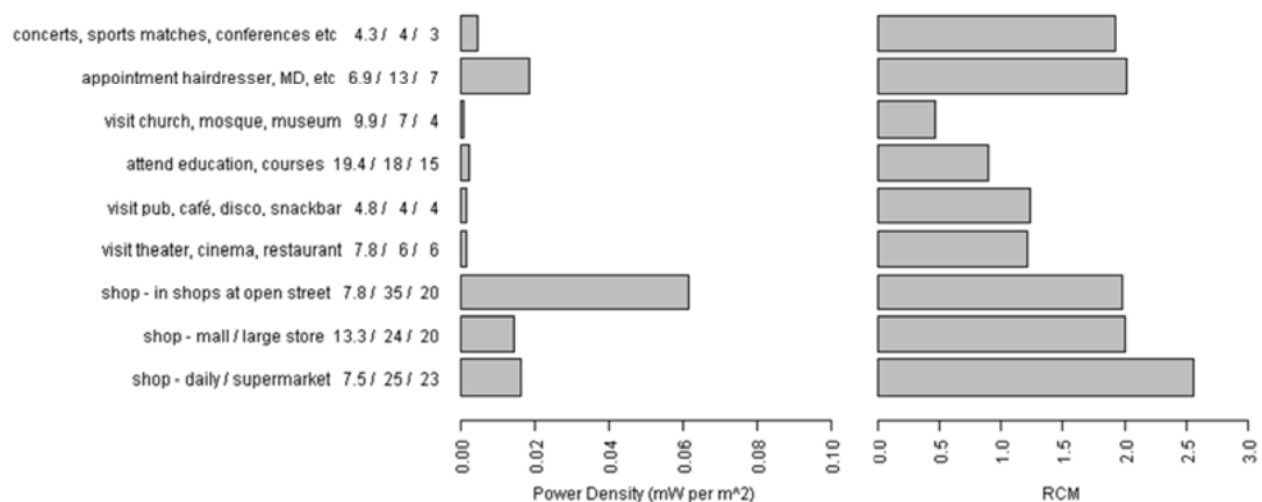
Welk kenmerk van een signaal moet je als maat gebruiken?

Als je weer teruggaat naar metingen, dan zie je in [Figuur 12](#) een typische meetreeks.



Figuur 12 Typische meting aan een laagfrequent magnetische veld, karakteriseer je dat aan het gemiddelde, het aantal pieken, of toch beter de tijdsduur dat het signaal boven een bepaalde drempelwaarde komt? Uit de database van het EMF-AEM uitgevoerd door RIVM met subsidie van ZonMw (Bolte et al, 2009; Bolte en Eikelboom, 2012).

Hoe karakteriseer je die nu. Wat kenmerkt dit signaal nu? Wat de meeste epidemiologen zouden zeggen, is: we nemen gewoon de gemiddelde blootstelling. En dan doen we net of dat iemand voortdurend zo is blootgesteld. Aan fijnstof of aan geluid. Als ik dat lijntje zo zie, dat is echt het gemiddelde van het signaal, maar ik krijg niet de indruk dat dat nu beschrijft wat ik zie. Dus of een slechte sensor of misschien moet je met een iets gevoeliger ding meten. Dat niet alleen gemiddelden rapporteert, maar echt per seconde weergeeft zoals je het hier ziet. En misschien moet je het helemaal niet op gemiddelde doen, maar op het aantal pieken dat ik waarneem. Daar gaat het hier misschien meer om. Je kan je voorstellen dat als iemand de hele dag met een klein hamertje op je knie slaat, dan vind je dat vervelend, maar het maakt niet zoveel uit, die gemiddelde energie is ook niet zoveel. Maar als ie aan het eind van de dag naar je bureau komt lopen, en hij slaat in een keer je knie aan gort, zat daar net zoveel energie in, maar omdat het zo'n piek is, is het wel einde verhaal met je knie. Dus misschien gaat het ook alleen om die pieken. En misschien gaat het ook alleen maar over episodes gedurende welke je boven een drempel zit. Tot een bepaald niveau kan ik de luchtafzuiging in mijn kantoor nog wel aan, maar als het te hard wordt kan ik niet meer werken. Probeer dit maar eens te vangen, voordat je begint. Probeer maar eens te bedenken, wat je wilt meten. Dat is een van de belangrijkste dingen. Want ook krijg je daardoor een andere rangschikking van blootstelling activiteiten, zoals je in [Figuur 13](#) kunt zien.

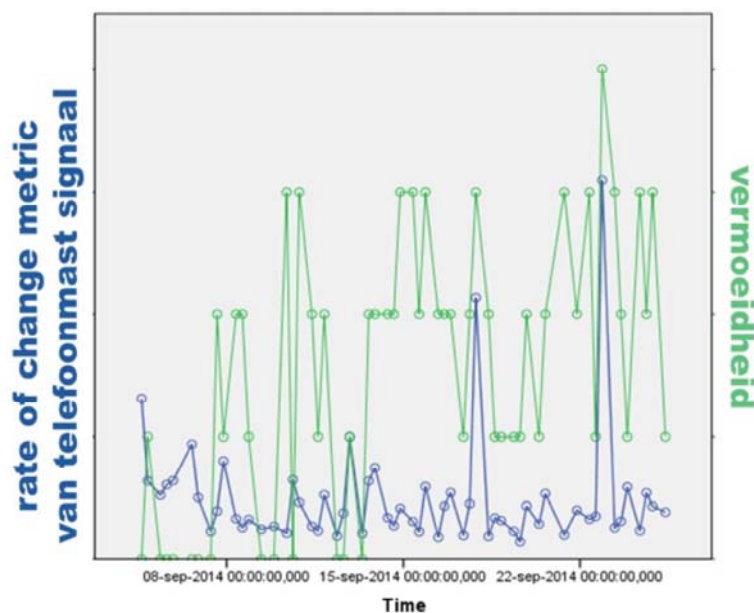


Figuur 13 De metriek om het signaal te kenmerken bepaalt de rangschikking van de activiteiten van hoog naar laag. Hier ziet u voor een gemeten DECT 1800 MHz signaal van koordloze telefoons links: de activiteiten gescoord op tijdgewogen gemiddelde, rechts: de activiteiten gescoord op grilligheid volgens de rate of change metric. Uit de database van het EMF-AEM uitgevoerd door RIVM met subsidie van ZonMw (Bolte et al, 2011; Bolte en Eikelboom, 2012).

Klassiek is links, en dan zou je zeggen, tijdens het winkelen heb je de grootste blootstelling in dit geval aan mobiele telefonie. Maar als ik ga kijken naar de grilligheid van het signaal, het aantal wisselingen van hoog naar laag, wat de rate of change metric aangeeft, dan krijg ik een hele andere rangschikking van wat de hoogste blootstelling is en de laagste. Maar maakt dat wat uit? Ja, dat maakt wat uit. Want waar we links, als we een gemiddelde blootstelling als maat gebruikten, helemaal nooit een verband vonden tussen blootstelling en gezondheid, ook omdat we dat met groepen deden, vonden we dat wel bij mensen die zelf verklaarden elektrosensitief te zijn, wat we nooit konden waarnemen omdat we niet naar de rate of change metric maar naar het gemiddelde keken.

Smart gaat over maatwerk: over de responsrelaties voor een individu

Die zelfverklaard gevoeligen hebben wij gewoon meetinstrumenten meegegeven, dezelfde die ik aan het begin van het verhaal liet zien, en een elektronisch dagboekje, en elke zes uur zei dat dagboekje piep. En dan moesten zij aangeven: ik voel mij nu zo. Dus de gezondheid maten we nog niet echt. Dat was subjectief. Maar wel op een onverwacht moment, er viel weinig aan te sturen. Je ziet in **Figuur 14**, een blauwe lijn die de objectief gemeten blootstelling, specifiek de grilligheid van het ervaren signaal, weergeeft. En een groene lijn, die de zelfgerapporteerde gezondheid weergeeft. Dat gaat wat schokkerig heen-en-weer, maar dat komt, zij konden kiezen tussen 0-1-2-3-4, om aan te geven: zo vermoeid ben ik. Nou zie je telkens na een piek in blootstelling, ook een piek in de ervaren vermoeidheid. En dit is statistisch significant. Daar kunnen we mooie technieken op loslaten. Dit is een echt verband. En het is bijna causaal te noemen, want we hebben het over drie weken verzameld. Dit soort dingen geven dus aan dat deze persoon mogelijk echt elektrosensitief is, en dat dat niet samenhangt met de gemiddelde intensiteit van de blootstelling, maar met de grilligheid ervan. Let wel, dit is slechts een aanwijzing, en dit onderzoek moet nog herhaald worden. Het onderzoek is al gepresenteerd op conferenties en zal door mijn collega deze maand gesubmit worden bij een peer-reviewed tijdschrift.



Figuur 14 Voorbeeld van een ecological momentary assessment onderzoek waarbij een zelfverklaard elektrosensitief persoon drie weken lang een radiofrequente veldsterktemeter droeg en een elektronisch dagboek dat iedere zes uur verzocht om de mate van vermoeidheid op een Likert schaal aan te geven. Deze scores zijn over de tijd geplot (groen) parallel met de rate of change metric van de telefoniesignalen (blauw). Een piek in blootstelling wordt hier altijd gevolgd door een piek in effect (Bogers et al., 2013; 2018 submitted).

Dit soort dingen geven aan dat een persoon met sensoren volgen door de tijd heel nuttig kan zijn. In ieder geval voor die ene persoon, om hem van advies te dienen. En dat is nog bij veel meer doelgroepen toepasbaar, bij sporters, je kan spiergroepen meten. Je kan weten wat hun bloedsuikergehalte is, hun hartslag, hun longinhoud, dat kun je allemaal meten en je kunt op basis van hun hartslag bij een bepaalde inspanning adviseren hoe lang ze daar nog mee door kunnen gaan voor een optimaal resultaat, of dat ze zich niet overtrainen. Dat is natuurlijk een groot probleem. Je kunt ook adviseren met allemaal schema's, die het allemaal weergeven wat het gemiddelde is voor een persoon van jouw leeftijd met dit voedingspatroon. Maar met sensoren kan je het helemaal tweaken. En dat gebeurt ook, we werken samen met een bedrijf dat dat doet. En dat vind ik hartstikke mooi. En ik vertelde eerder over de werknemers, die de sensoren in early warningsystemen gebruiken. Maar ze kunnen ook iemands persoonlijke gevoeligheid of tolerantie waarnemen. Denk bijvoorbeeld aan UV, een heel duidelijk voorbeeld, mensen met een donkere huid krijgen huidkanker en verbranden net zoals mensen met een witte huid. Maar het duurt wel veel langer. De mensen met een donkere huid zijn minder gevoelig. Er zijn ook mensen die gevoeliger zijn voor fijnstof, een ieder met een andere drempelwaarde. Dat kun je allemaal vastleggen. Als je mensen een persoonlijk waarschuwingssysteem geeft, of beter een persoonlijk meetsysteem. En dat is eigenlijk een andere definitie van smart. Niet alleen dat het handelingperspectief biedt, maar een handelingperspectief voor een persoon, voor een plant, of een auto. Dat zijn de enorme mogelijkheden van kleinere goedkoper sensoren.

Wat doet het lectoraat en waar gaan we naartoe?

Bloemlezing van lopende projecten

Wat doen wij nu? **Figuur 15** geeft een voorbeeld van arbeidsomstandigheden waarbij we in dit geval wegwerkers hebben behangen met sensoren om al die dingen waar wegwerkers wel last van hebben te meten, zoals fijnstof van uitlaatgassen en steenafslag van de weg, geluid en UV. Op den duur. Want als jij 10 jaar lang langs de weg werkt en je smeert niet, dat is dat een verhoogde kans op kanker, huidkanker. Als je geen oorkleppen draagt loop je na 10 tot 15 jaar zeer waarschijnlijk gehoorverlies op. En als jij almaar bloot wordt gesteld aan fijnstof, en je draagt geen masker, dan loop jij op een gegeven moment het risico dat je longziektes krijgt. Fijnstof is tricky, We weten hoe het werkt, maar het gebeurt niet bij iedereen, niet iedereen reageert er sterk op en al zeker verschilt de drempelwaarde tussen personen. Wel belangrijk om te onderzoeken.



Figuur 15 Een wegwerker draagt wearables voor UV (links boven), GPS-logger (rechts boven), fijnstof (links onder) en geluid (rechts onder).

En in dit soort arbeidssituaties, zoals een wegwerker, die maakt zich er niet zo druk om, als hij maar niet doodgereden wordt. Maar hij zou zich er wel druk om moeten maken, want dit zijn de langzame killers. Er zijn ook andere snelle killers in het bedrijfsleven. Wat ik al zei, als jij in een waterstoffabriek werkt, sta je bloot aan ontplofingsgevaar van gassen die je niet ruikt. Daar heb je early warningsystemen voor nodig. Maar dit zijn persoonlijke gezondheid-waarschuwingssystemen. Erg leuk.

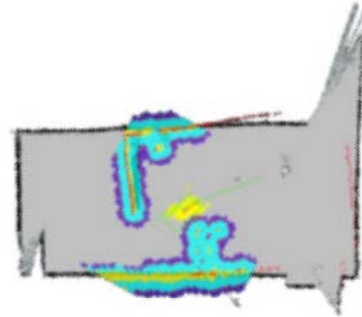
Een ander ding, wat wij doen bij het lectoraat, we proberen het ook een beetje uit te klappen naar de wereld. En dat doen we bijvoorbeeld door een Sensor Data Challenge te organiseren met het CBS, de Universiteit Utrecht en het RIVM. Om allemaal vraagstukken die je objectief zou willen kunnen meten, mogelijk te maken. Het meten van voeding is bijvoorbeeld een groot ding. De eersteprizewinnaars hadden een methode bedacht om voeding beter en objectiever te meten: we halen eerst recepten van internet, en als jij dan alleen nog maar aangeeft: ik heb spinazietaart gegeten, dan haal je je smartphone erlangs, die schat vervolgens het volume van voeding, en dat is nog niet eenvoudig. En dan combineren we dat met een standaardrecept, een gemiddeld recept, samengesteld uit vele soorten recepten voor spinazietaart die van internet zijn gescrapet, en zo krijg je de gemiddelde voedingswaarde en voedingsstoffen van zo'n spinazietaart. Dat kan heel interessant zijn, als je onderzoek doet naar het verband tussen voeding en gezondheid, met het oog op welke adviezen je moet geven, maar het is ook voor het individu heel interessant om te weten hoe het nu specifiek voor hem zit op basis van objectieve metingen.

Wat jullie net op het plein hebben zien rondrijden en lopen, dat is onder andere een AGV, een automatic guided vehicle, dat rijdt rond in de kas op het filmpje dat draaide bij de ontvangst. En wij gebruiken het bijvoorbeeld in tomatenkassen om al die verschillende groei- en blootstellingsparameters te meten. En wij hebben daar ook een heel mooi groot project op, dat heet SCOUT. Dat is een SIA Raak-project. SIA is een soort NWO voor hbo-instellingen. En we zijn daarin echt aan het meten in kassen, en nieuwe meetmethoden aan het ontwikkelen. Bijvoorbeeld om te kijken, hoe kun je weten of een plant vrucht gaat dragen, hoe dik is zijn stam, en dat meten zonder de plant aan te raken. Zo kan je kijken hoe groot het bladerdek is van de plant, zie [Figuur 16](#), want zo kan je zien of hij goed groeit. En als je dat weet kun je daar sturingsparameters aan toevoegen. Meer of minder rood licht, rood licht gebruiken we trouwens omdat dat geabsorbeerd wordt door zo'n blad. Groen wordt gereflecteerd, daarom is een plant groen. Maar het is dus efficiënter om er rood licht in te stoppen. Al-
lemaal leuke technologische vooruitgang en allemaal dingen waar wij met onze studenten aan werken.



Figuur 16 Een student van De Haagse Hogeschool meet de lichtdoorlatendheid van het bladerdek in de tomatenkas van Delphy voor het [SIA Raak MKB project Scout](#).

We hebben een ander project wat net begonnen is, over het meten van zelfrijdende karretjes. We moeten weten waar ze zijn, wat de locatie is, waar ze naartoe moeten, wat de efficiëntste route is. Of we onderweg niks tegen gaan komen. Problemen, als je bijvoorbeeld in de Rotterdamse haven kijkt, dat hebben jullie net gehoord van mijn collega spreker in het minisymposium, simpele problemen zijn obstakels die je niet zou verwachten: andere karretjes die stilstaan, een pallet die is achtergebleven, stomweg een meeuw die voor je karretje zit en niet weggaat. En zich om de wielen heen vouwt. Dat wil je allemaal niet. Dus hier zit heel erg de omgevingsinterpretatie in. Wat je ook bij een slimme rolstoel ziet in **Figuur 17**.



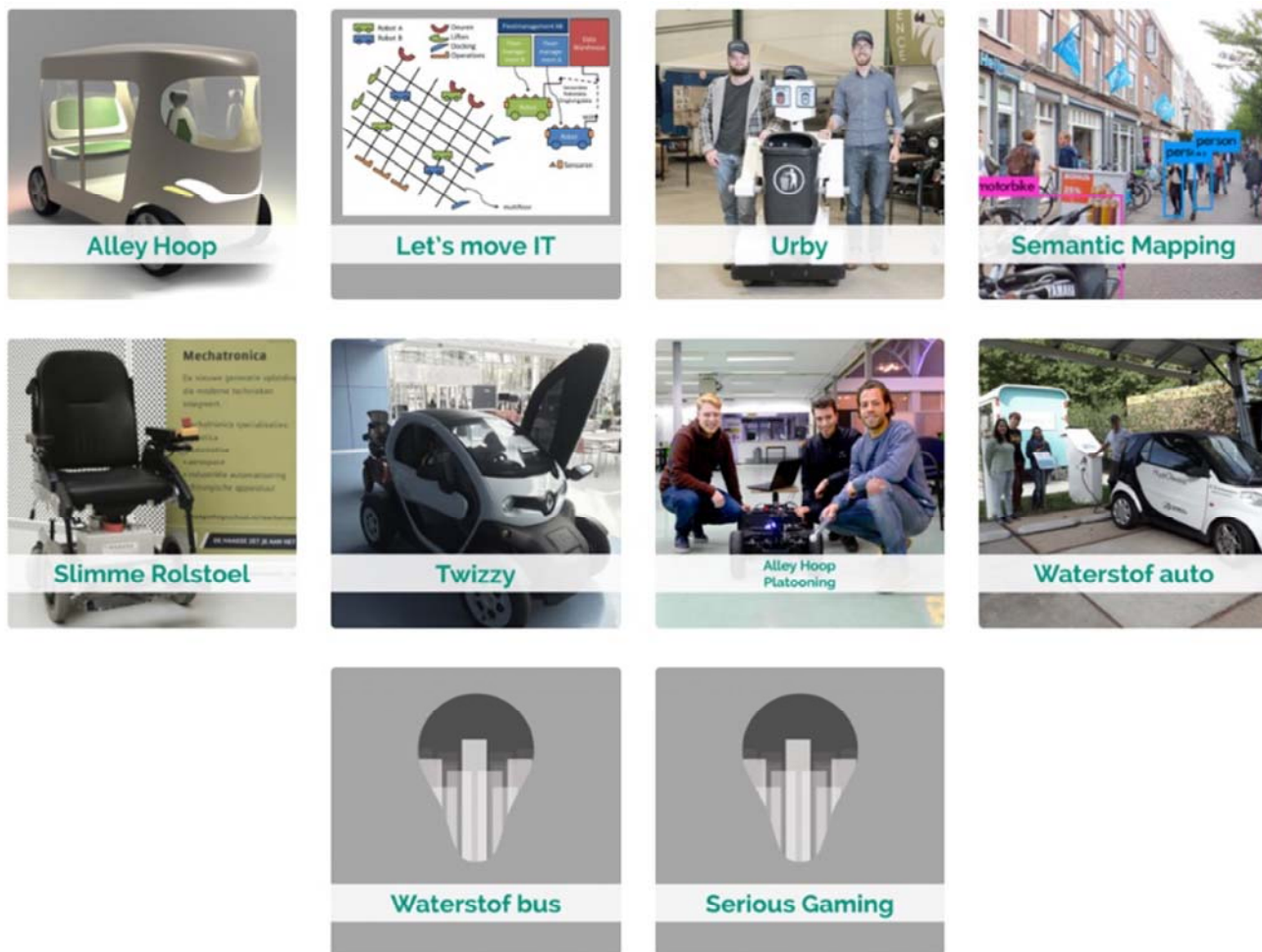
Figuur 17 De zelfrijdende rolstoel gebruikt een lidar en een 3D camera, ondersteund met akoestische sensoren om een kaartje van de ruimte te maken en vervolgens automatisch te rijden naar de locatie die de gebruiker aangeeft op het touch screen, en daarbij zowel statische als dynamische obstakels ontwijkt.

Want een slimme rolstoel is eigenlijk niets anders dan een zelfsturende auto, alleen met andere sensoren. Maar daar zit ook lidar in. En daar zit ook sonar in. En er zit ook een interpretatiesysteem in dat een kaartje maakt van de omgeving. En het leuke is, je komt ergens binnen, en het kaartje verschijnt op het scherm, op de rolstoel, je klikt het aan, en je rolstoel rijdt er naartoe. En je hebt hem zien rijden, hier op het plein. Dat zijn hele mooie ontwikkelingen. En dit is ook een heel mooi ontwerp object, om verder mee te gaan, om te kijken en te experimenteren, en dat kunnen we dan dus ook toepassen op auto's. Het moet sneller en het moet verder kunnen kijken, maar we kunnen het wel toepassen. En dat doen we dus ook, dat doen wij met een lectoraatslid van de Faculteit IT&D.

We kijken bijvoorbeeld naar: wat is nou de afstand tot bepaalde objecten? We detecteren hoekjes, of eigenlijk verticale objecten en meten daar de afstand mee. We bepalen de afstand ermee, dat zie je links. En we proberen vast te leggen, van wat is het nu. Dat zijn allemaal databases, maar je moet je eigen systeempje even trainen. Het is deep learning, en dat betekent dat de machine in het begin misschien wel eens een foutje maakt, en een fiets nog een motorfiets noemt.

Studenten bij het lectoraat via minoren en het LearningLab Urbinn

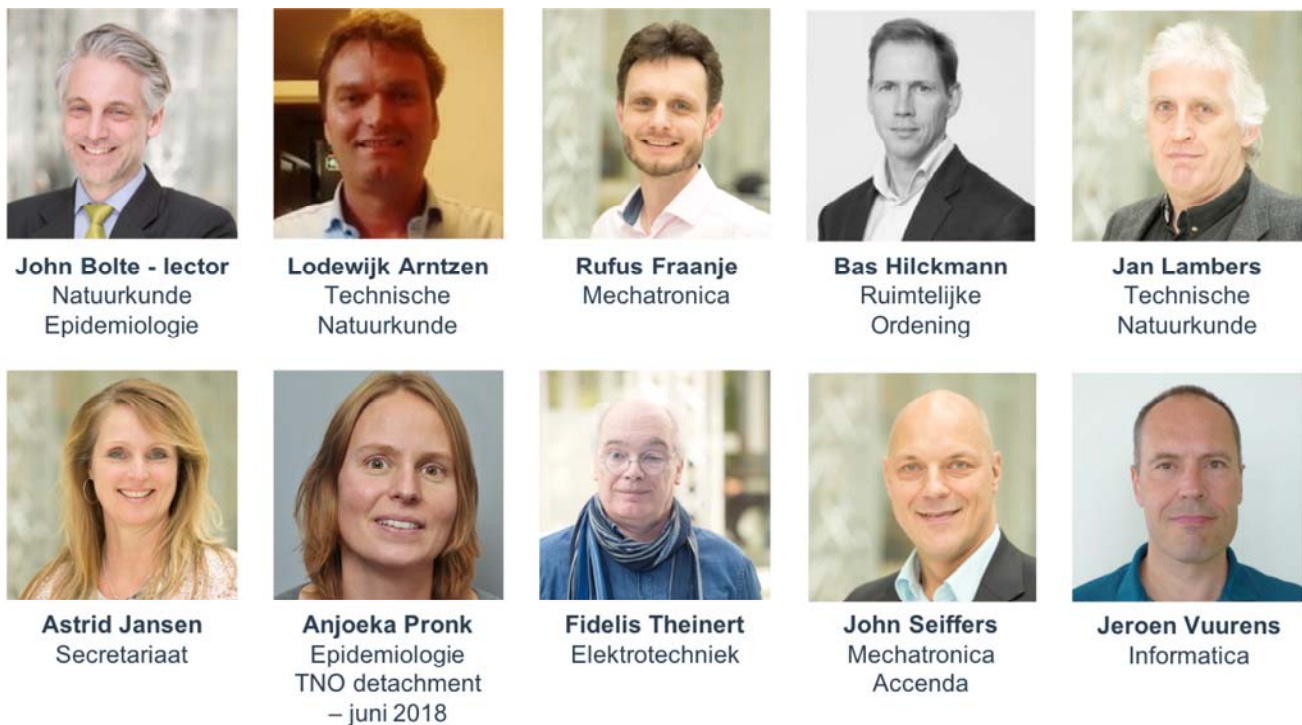
Het is ons doel om al die technieken te ontwikkelen, maar vooral die studenten daarin mee te nemen. Want je kan zeggen: dit bestaat toch allang? Nee, iedereen is ermee bezig, en die rolstoel bestaat trouwens niet allang, maar je moet studenten daarin opleiden, we moeten er bovenop zitten. Dit zijn de ontwikkelingen van de toekomst, en daar houden we ons dus ook echt actief mee bezig. En dat zie je ook op onze website van het LearningLab Urbinn: www.urbinn.nl, ik kan het niet nalaten om deze reclame erin te gooien. We zijn nu anderhalf jaar bezig als lectoraat, **Figuur 18** geeft een screenshot met het overzicht van de 10 lopende projecten. Projecten die wij samen met het bedrijfsleven, samen met twee faculteiten, en met zes specialisatie richtingen, zogenaamde minoren, opzetten. In een grote loods in Delft werken mensen aan al die objecten en voertuigen. Je had het in het nominatiefilmpje bij de ontvangst kunnen zien, en ik laat zo meteen nog een keer zien hoe het zit.



Figuur 18 Screenshot van de projectoverzichtspagina van het LearningLab Urbinn voor de ontwikkeling van duurzame en autonoom rijdende voertuigen, zie www.urbinn.nl.

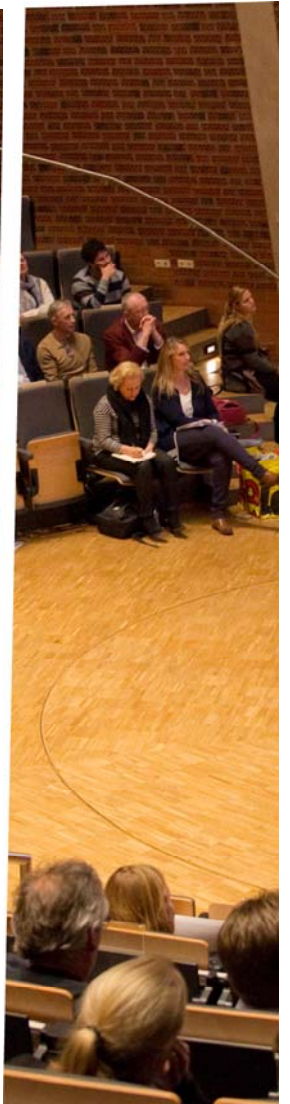
De kenniskring

En we doen het met deze mensen, zie **Figuur 19**. Dit zijn de mensen in mijn lectoraat. Die in ieder geval primair, minstens een dag in de week, werken aan al die vraagstukken. En daar ben ik heel trots op, dus jongens, ga even staan. Dank je wel. En waar ik ook trots op ben, is dat we al gewoon een prijs gewonnen hebben met ons LearningLab Urbinn waar alle projecten over duurzame en autonoom rijdende voertuigen letterlijk samenkomen in een loods in Delft (Bereikbaar Haaglanden, 20 november 2017). Urbinn, waar al de projecten over duurzame en autonome voertuigen, de ultieme Smart sensor Systems, letterlijk in een loods in Delft bij elkaar komen. En ik ben er trots op dat we dat met de bedrijven, docenten, en studenten van de Betafactory (www.betafactory.nl) en de minoren kunnen doen. En ik wil jullie daar ook laten zien wat zij ervan vinden in dit filmpje dat Omroep West van ons LearningLab heeft gemaakt (Omroep West, 22 november 2017).



Figuur 19 De kenniskring van het lectoraat Smart Sensor Systems, zie ook <https://www.dehaagsehogeschool.nl/onderzoek/lectoraten/details/smart-sensor-systems>.







Ik wil jullie alleen maar meegeven: de wereld van de sensoren is eindeloos. Maar deze oratie niet. Ik dank jullie voor de aandacht en ik nodig jullie uit om nog een keer naar alle mooie dingen te kijken op het plein. Om elkaar een hand te geven, en samen met mij te proosten op de verdere toekomst van dit lectoraat.



Referenties

Bereikbaar Haaglanden, 20 november 2017 – MobiliteitsAward – Winnaars MobiliteitsAward 2017. <http://bereikbaarhaaglanden.nl/mobiliteitsaward>; <http://www.overmobiliteit.nl/technologie/bereikbaar-haaglanden-deelt-mobiliteitsaward-2017-uit>. Geraadpleegd 28 januari 2018

Bogers RP, Bolte JF, Houtveen JH, Lebret E, van Strien RT, Schipper CM, Alkadhimi M, Baliatsas C, van Kamp I, 2013. Design of an ecological momentary assessment study of exposure to radiofrequency electromagnetic fields and non-specific physical symptoms. *BMJ Open* 29;3(8):e002933. doi: 10.1136/bmjopen-2013-002933.

Bogers RP, Van Gils A, Clahsen SCS, Vercrujisse W, Van Kamp I, Baliatsas C, Rosmalen JGM, Bolte JFB, xxxx. Individual variation in temporal relationships between exposure to radiofrequency electromagnetics fields and non-specific physical symptoms: A new approach in studying electrosensitivity. *Environ Int* submitted January 2018.

Bolte JFB, 2016. Lessons learnt on biases and uncertainties in personal exposure measurement surveys of radiofrequency electromagnetic fields with exposimeters. *Environ Int.* 94:724-735. doi: 10.1016/j.envint.2016.06.023.

Bolte JF, Eikelboom T, 2012. Personal radiofrequency electromagnetic field measurements in The Netherlands: exposure level and variability for everyday activities, times of day and types of area. *Environ Int.* 48:133-42. doi: 10.1016/j.envint.2012.07.006.

Bolte JF, Maslanyj M, Addison D, Mee T, Kamer J, Colussi L., 2016. Do car-mounted mobile measurements used for radio-frequency spectrum regulation have an application for exposure assessments in epidemiological studies? *Environ Int.* 86:75-83. doi: 10.1016/j.envint.2015.09.024.

Bolte JFB, Pruppers MJM, Kamer J, Van der Zande G, Schipper CMA, 2008. The Dutch exposimeter study: Developing an activity exposure matrix. *Epidemiology* 19 (6), S78-S79

Gezondheidsraad. Gezondheidswinst door schonere lucht. Den Haag: Gezondheidsraad, 2018; publicatienr. 2018/01

Omroep West, 22 november 2017. Zelfrijden in de stad goed voor innovatieprijs. <https://www.omroepwest.nl/nieuws/3551743/Zelfrijden-in-de-stad-goed-voor-innovatieprijs>, geraadpleegd 28 januari 2018.

Rijksoverheid, Regeerakkoord 2017: Vertrouwen in de toekomst – VVD, CDA, D66 en ChristenUnie, <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2017/10/10/regeerakkoord-2017-vertrouwen-in-de-toekomst>, geraadpleegd 28 januari 2018.

Tesla Team, A Tragic Loss. June 30 2016. https://www.tesla.com/nl_NL/blog/tragic-loss, geraadpleegd 28 januari 2018.

De Volkskrant, 3 januari 2018 – Bewust omgaan met uw gezondheid en tegelijk uw mobieltje? Probeer deze zorg-app eens. <https://www.volkskrant.nl/economie/bewust-omgaan-met-uw-gezondheid-en-tegelijk-op-uw-mobieltje-probeer-deze-zorg-apps-eens~a4552370/> , geraadpleegd 28 januari 2018.

Dankwoord

Het zal nooit lukken om iedereen te bedanken en ik zal altijd bang zijn om iemand niet te erkennen voor de echte bijdrage die hij of zij geleverd heeft. Eén goede vriend wil ik noemen: lector Harmen Bijwaard omdat hij mij, in heldere woorden, heeft aangezet om er volledig voor te gaan om deze positie van lector Smart Sensor Systems te krijgen. En daarmee werd mijn leven nog leuker. Verder erken ik in dit dankwoord vooral de collega's met wie ik mag werken aan De Haagse, te veel om op te noemen, dus dat doe ik bewust niet. In ieder geval wil ik opmerken dat ik mag werken met mijn faculteitsdirecteur Nellie van de Griend die vooral wil dat ik inhoudelijk aantrekkelijke projecten opzet, met een zeer kundig team van lectoren, Erwin de Vlugt en Karel Mulder in de faculteit Technologie, Innovatie en Samenleving, maar ook nog met velen binnen het onderzoeksplatform Kwaliteit van Leven en het onderzoeksplatform Goed Bestuur voor een Veilige Wereld. Voorts werken we samen met coördinatoren van negen minoren en hun studenten die werken aan onze projecten, en niet te vergeten de docenten en bedrijven in het LearningLab Urbinn waar al onze projecten over duurzaam en autonoom rijden samenkomen. En uiteraard bedank ik het team van de Betafactory, waarbij ik speciaal Nico Persoon als aangever van mooie kansen en organisator Sabine Eijlander en vormgever Veerle Peeters wil noemen. Veerle heeft dit mooie document en ook de presentatie in elkaar gezet en dat resultaat mag er zijn!

Ik beperk me in dit dankwoord voorts tot de overzichtelijke rol van mijn kenniskringleden. Die ik allemaal aan de hand van een, voor mij opvallende, eigenschap zal karakteriseren. En waar ze hopelijk vrolijk van worden. In willekeurige volgorde: onze mechatronicus Rufus Fraanje, die een erg bescheiden harde werker is, terwijl we toch echt op zijn initiatief en inspanning twee SIA Raak MKB projecten, Scout en Let's move IT, hebben verworven; de elektrotechnicus Fidelis Theinert, die van alle hardware een gedetailleerde kennisbasis blijkt te hebben, en weet hoe je ze moet inzetten; de natuurkundige Jan Lambers die altijd weer een nieuw meetprincipe wil exploreren, en niet zonder succes; de nano-natuurkundige Lodewijk Arntzen die zo heerlijk enthousiast ambitieus is dat ik hem dan weer moet aanraden de helft minder in te plannen; de mensenmens-mechatronicus-met-tientallen projecten in Urbinn en zijn eigen zaak tegelijk: John Seiffers, ook de kwartiermaker van dit lectoraat; de informaticus Jeroen Vuurens, die eenmaal enthousiast op geen enkele manier meer van zijn doel af te houden is; de bouwkundige Bas Hilckmann met een groot mobiliteitsnetwerk die Urbinn ongetwijfeld naar mooie subsidies zal leiden; de epidemioloog Anjoeka Pronk die heel snel associeert en verbindt op blootstelling en gezondheid en onze projectaanvragen voor wearables opzet; en onze onvermoeibare, immer vrolijke en toegewijde duizendpoot Astrid Jansen die alles organiseert nog voor je het vraagt, en niet klaagt, maar bovenal overal in slaagt. Ik bof maar!

Mijn leven is natuurlijk waar het nu staat omdat ik ouders heb die mij altijd hebben gemotiveerd nog meer te leren, hard te werken en nieuwsgierig te zijn naar het onbekende. En dat is heel fijn. Dank je pap en mam. En gelukkig kunnen mijn sterke zus Esther en ik op elkaar bouwen, en dat is ook niet zo gek als je bedenkt dat wij ook op elkaar lijken: zij heeft als professioneel actrice en regisseuse ook een creatief beroep en leidt ook een groep met haar toneelstichting. Hetzelfde, maar dan anders.

En natuurlijk Annemarie, mijn lieve Knuf, we delen alle zware tijden, maar vooral ook de lol. En nadat ze zelf gepromoveerd was afgelopen zomer, mocht ze het stokje weer overnemen van mij en de afgelopen maanden vooral voor onze kinderen zorgen. Onze schitterende kinderen Fenne en Jonah die mij intens blij maken met hun vrolijke gekakel en observaties en die ik al mis als ik een enkele nacht van huis ben.

Had ik al gezegd dat ik bof?

De Haagse Hogeschool
Johanna Westerdijkplein 75
2521 EN Den Haag

dehaagsehogeschool.nl

