

Highlights 2015



Highlights 2015

Technische
Universiteit
Delft

7	Voorwoord
8	Robert Babuska
12	Alexander in 't Veld
16	Serge Hoogendoorn
20	DARE studententeam
24	Alessandro Bozzon
28	PMB
32	Jan Leen Kloosterman
36	Chris Hellinga
40	Maarten van Ham
44	Maja Rudinac
48	iGem studententeam
52	Michel van Eeten

Voorwoord

Deze TU Delft Highlights 2015 geeft weer een prachtige inkijk in onderzoek, onderwijs en ondernemen bij de TU Delft. Ook dit jaar mochten we ons verheugen in baanbrekend onderzoek dat ook nog vaak de wereldmedia haalde, een toeloop van studenten die weer hoger lag dan voorgaande jaren en een keur aan succesvolle en ambitieuze studenten en medewerkers die het ondernemerschap een kans gaven. In een publicatie als deze kunnen we dan ook nooit volledig zijn, al zou de naam Highlights kunnen doen vermoeden dat het hier een overzicht van de absolute hoogtepunten uit het jaar betreft.

Dat is natuurlijk niet zo. Dat we ditmaal de winnende studententeams van iGem en Stratos II+ in het zonnetje zetten, betekent niet dat we de prestatie van het Nuon Solar team, dat in Australië voor de zesde keer de World Solar Challenge won, bagatelliseren. En al belichten we dit keer het belangwekkende boek van professor Maarten van Ham over segregatie, we zijn nog steeds bijzonder trots op de geslaagde 'loophole-free Bell test' waarmee professor Ronald Hanson en zijn collega's eerder dit jaar de quantummechanische deeltjesverstrengeling bewezen, om maar een paar voorbeelden te noemen.

Geen uitputtende lijst dus, maar de twaalf interviews in deze publicatie zijn wel representatief voor al het moois dat er aan onze universiteit gebeurt. Wat deze selectie ook heel goed in beeld brengt, zijn alle vruchtbare kruisbestuivingen die er onderling plaatsvinden. Laat ik wat voorbeelden geven. De studenten van raketvereniging DARE hebben in hun bachelor het uitstekende onderwijs gevolgd van Docent van het Jaar Alexander in 't Veld. Tegenwoordig worden zij door

de faculteit gevraagd om vanuit hun ervaring bij te dragen aan bijvoorbeeld het praktijkonderwijs.

Professor Serge Hoogendoorn en Dr. Alessandro Bozzon werken samen aan onderzoek om de leefbaarheid in steden te vergroten, de een vanuit zijn expertise op het gebied van verkeersmanagement en de ander vanuit de hoek van de sociale datawetenschap. Maja Rudinac, CEO van Robot Care Systems, is een oud-collega van professor Robert Babuska, en nu op haar beurt werkgever voor Robotica-afgestudeerden.

Dit alles zou natuurlijk niet mogelijk zijn zonder Universiteitsdienst; met veel genoegen presenteren we u dan ook de mannen van het Practicum Modelbouw en Bewerkingen (PMB) van de faculteit Industrieel Ontwerpen (IO) als vertegenwoordigers van de vele toegewijde en vakkundige ondersteuners die onze universiteit rijk is. En om al deze medewerkers en studenten een leer- en werkomgeving te bieden waar hoogstaande faciliteiten samengaan met alle moderne gemakken, zijn we bezig aan een grondige herontwikkeling van onze campus. Een tipje van de sluier hierover licht onze coördinator duurzaamheid Chris Hellinga op.

Twaalf interviews met niet-zomaar mensen van onze universiteit. Allemaal samen maken zij het verschil, bij de TU Delft en in de samenleving.

Professor Karel Luyben
Rector Magnificus
Technische Universiteit Delft



Robots leren als mensen

Professor Robert Babuska spreekt op 8 januari 2016 de Diesrede uit bij de viering van de 174e oprichtingsdag van de TU Delft.

Babuska is hoogleraar Intelligent Control and Robotics bij de faculteit Werktuigbouwkunde, Mechanica en Maritieme Techniek (3mE). Hij is tevens wetenschappelijk directeur van het TU Delft Robotics Institute.

‘Het is niet zo moeilijk om een robot blij te maken,’ aldus Babuska.

Van jongs af aan had ik een fascinatie voor elektriciteit. Als kind liep ik altijd met een stuk snoer in mijn handen en stak dat ook wel eens in het stopcontact. Daar waren mijn ouders niet zo blij mee. Later studeerde ik elektrotechniek in Tsjechië, bij de TU Praag, met als specialisatie technische cybernetica. Dat is eigenlijk regeltechniek met een vleugje Kunstmatige Intelligentie en robotica. Dus er zat altijd iets van robotica bij, maar ik heb ook aan heel veel andere toepassingen van de regeltechniek gewerkt. Denk aan processen als drinkwaterzuivering of de optimalisatie van baggerprocessen.

Regeltechniek zit overal in, al zie je het niet van de buitenkant: je mobiel, je auto, een vliegtuig. Ik onderzoek generieke systemen voor regeltechniek, meestal met een toepassing in de robotica. Ik houd van de algemene aard daarvan. Als je één methode uitvindt, kun je die op allerlei systemen toepassen. Ik ben vooral geïnteresseerd in lerende regelsystemen, dus hoe je een systeem zichzelf laat verbeteren. Stel dat een robot een moeilijke taak moet uitvoeren, zoals lopen. Als de mens dat één keer voordoet, lukt het de robot de eerste keer maar ten dele. Je wilt dan dat de robot zichzelf gaandeweg verbetert en uiteindelijk beter presteert dan de mens. Dat kan, dat is ook bewezen.

Wat door mensen is ingesteld, kun je altijd automatisch optimaliseren. Een productieproces, of de klimaatbeheersing in je huis. Toch wordt dit principe nog niet vaak gebruikt. Wel bij schepen bijvoorbeeld. Er zijn algoritmen die zichzelf kunnen aanpassen aan de veranderlijke condities op zee. De industrie is echter nog erg voorzichtig. Iets moet presteren zoals het is voorgeschreven, zonder verrassingen. Daar is dus weinig ruimte voor experimenten, want anders moet je ook accepteren dat het lerende systeem af en toe een fout maakt, net als de mens. Onze uitdaging is om te zorgen dat deze technieken geen grote fouten maken tijdens het leren. Dat onderzoek is zeer de moeite waard, want je kunt er systemen uiteindelijk veel beter mee laten presteren, waardoor ze bijvoorbeeld grondstoffen en energie besparen.

Reinforcement learning is een van de technieken die we gebruiken. Dat is gebaseerd op de manier waarop mens en dier leren, met beloning en straf. Je kunt een hond of een klein kind iets niet uitleggen, maar je kunt wel het gewenste gedrag belonen. Dit principe kun je vrij eenvoudig in een computer programmeren. De beloning is dan geen koekje, maar gewoon een getal. Een leeralgoritme probeert dan zoveel mogelijk van die beloning te verzamelen. Met dit soort technieken

kunnen computers van totaal niets tot een wereldprestatie komen. Daar zijn heel veel voorbeelden van in de literatuur en op internet. Google DeepMind bijvoorbeeld, liet zijn computer een aantal schermen van Atari-spelletjes zien, zonder iets uit te leggen over de spelregels of tactiek. Na een paar uurtjes speelde de computer dat spel al heel aardig en na een halve dag zelfs beter dan de mens. Dat is geen wereldverbeterende toepassing, maar het laat wel zien wat er mogelijk is.

Bij lopende robots passen we hetzelfde toe. Lopen doen wij mensen vloeiend zonder erbij na te denken. Voor een robot is dat ontzettend moeilijk: die is op twee benen instabiel en kan makkelijk omvallen. Daardoor gaat hij voorzichtig lopen en dat ziet er juist zo machinaal uit. Dat dynamische lopen, zoals een mens, kun je coderen als het gewenste gedrag. Dus als de robot een goede stap vooruit zet, een bepaalde snelheid haalt, en niet teveel energie gebruikt, dan geef je een beloning. Als hij omvalt geef je straf. Zo kan het algoritme aanleren wat de optimale aansturing is voor de verschillende motoren, zodat de robot mooi loopt. Punten zijn dan de beloning. Veel punten is goed, dat zit erin geprogrammeerd. Bij ons is de beloning meestal dopamine; als je iets goed doet, wordt er een stofje in de hersenen aangemaakt waar je blij van wordt. Het

Hoe kunnen we robots en mensen op een effectieve manier laten samenwerken? Dat is de wetenschappelijke uitdaging van het TU Delft Robotics Institute, waarbinnen onderzoekers van bijna alle faculteiten samenwerken. Samen bestrijken ze een scala aan vakgebieden. Dat omvat 'harde' robotwetenschappen als mechatronica, embedded systems, control en AI, maar ook 'zachte' disciplines als mens-machine-interactie, ethiek en design. Het onderzoek richt zich op drie thema's. Het eerste thema, robotzwermen, draait om simpele robots die gezamenlijk complexe taken kunnen uitvoeren, zoals observeren, meten, en verzenden van data. Het tweede thema, robots die werken, gaat over robots die voor of samen met mensen taken kunnen uitvoeren in een productieomgeving. Het derde thema, interactieve robots, behelst robots die fysiek en/of sociaal met mensen kunnen omgaan en hen bijstaan.

is niet zo moeilijk een computer blij te maken. Het mooie hiervan is dat de robot iets leert dat je als mens haast niet kunt programmeren.

Snel kunnen beslissen is een must voor robots. Ze opereren immers real-time in de echte wereld, net als mensen. Daarom kijken we naar de beslismodellen die mensen gebruiken. We weten uit de neuropsychologie dat wij in onze hersenen ook met modellen werken. Een droom is bijvoorbeeld een soort simulatie bedoeld om een informatie-overload te verwerken. Veel van wat we doen is gebaseerd op voorspellingen in de hersenen. Als je een bal zou proberen te vangen op basis van zintuiglijke waarnemingen, ben je te laat. Je hersenen berekenen waar de bal terecht zal komen, uitgaande van eerdere ervaringen. Die voorspellende modellen in de hersenen passen we steeds aan met nieuwe data.

Zulke voorspellende modellen kun je ook voor systemen maken, predictive control heet dat. Zo kun je proberen te voorspellen hoe de beweging van een robot er in de volgende paar seconden uitziet. Je simuleert een scenario met daarin heel veel verschillende inputs van alle mogelijke bewegingen. Vervolgens kies je de voorspelling uit die het meest overeenkomt met wat je wilt. De tweede

daarna doe je dat allemaal opnieuw. Dus eigenlijk net als een schaakgrootmeester, die meerdere zetten vooruitdenkt, en dat na de zet van zijn tegenspeler opnieuw doet. Schaken is moeilijk, maar in een beetje beperktere setting kun je wel honderd stappen vooruit rekenen. Het mooie is dat je in zo'n raamwerk allerlei eisen en beperkingen kunt meenemen. Stel dat een van de scenario's die je berekent tot een heel slecht gevolg leidt, dan kun je zorgen dat je systeem daar van afblijft.

Bij zwermrobots kun je dit goed toepassen. Een zwerm van kleine, goedkope robotjes die elk een deel van een taak uitvoeren, kunnen gezamenlijk iets heel moois doen. Je wilt alleen niet dat ze onnodig botsen als ze zich voortbewegen, daarvan gaan ze maar kapot. Als ze wieltjes hebben, kun je aan de hand van de snelheden van het linker- en het rechterwiel een paar seconden vooruit voorspellen welke bochten ze gaan maken. Als je als robot dan met je camera een andere robot ziet aankomen en er een botsing dreigt, pas jij je route aan. Elk lid van de zwerm heeft een eigen, weliswaar klein breintje, maar ze hoeven niet alle robotjes in de zwerm continu in de gaten te houden. Zoiets werkt verbazend goed in de praktijk. Decentrale regeling is hier efficiënter dan centrale regeling. Een ander voorbeeld

'Hoe zorgen we er nu voor dat het straks niet uit de hand loopt met technieken die zo slim zijn dat ze een bovenmenselijke prestatie kunnen leveren?'

is de manipulatie van objecten. Denk aan kranen in een containerpark. Het pad van een container aan de kraan kun je ook heel mooi optimaliseren met voorspellende regeltechniek. Misschien waait het heel hard, en sommige paden zijn gevoeliger voor zijwind dan andere, dan kies je het pad dat je de grootste kans geeft op veilige aankomst. Het kortste pad is niet noodzakelijk het beste.

De interactie tussen robot en mens is iets waar we veel onderzoek naar doen. Robots moeten kunnen inspelen op mensen. Andersom is het ook zo dat de mens moet kunnen begrijpen hoe de robot denkt. Daarvoor moet een robot aan de mens laten zien wat hij van plan is, met behulp van beweging, spraak of met licht of een projectie, dat kan allemaal. De mens hoeft dat vervolgens niet te accepteren. De robot moet dan ook weer voldoende adaptief zijn om te zeggen: ik snap het; ik ga doen wat jij wilt. Dus een robot moet zijn intenties tonen, adaptief zijn, kunnen inschatten wat de mens van plan is; daar moet je een simpel model van menselijk gedrag voor inbouwen of aanleren. Daar komt best veel bij kijken, niet alleen modelvorming, maar ook psychologie.

Een zekere mate van autonomie voor robots is wel wenselijk. Anders moet je ze voortdurend bij de hand nemen

en vertellen wat ze moeten doen; dat schiet niet op. Soms moet een robot ook op grote afstand kunnen functioneren. Een robot moet dus een deel van de tijd zelfstandig beslissingen kunnen nemen, waarvan sommige heel gemakkelijk zijn: ik zie een obstakel en ik rij eromheen. Andere beslissingen zijn juist heel moeilijk. Bij zelfrijdende auto's zijn daar bekende voorbeelden van: moet zo'n auto de bestuurder opofferen om drie voetgangers te redden? Daar kom je ethisch niet uit. Volledige autonomie is dus eigenlijk niet wenselijk, want je wilt als mens controle hebben over de robot. Hij moet zelfstandig zijn, maar geen dingen helemaal zelf gaan bedenken.

Waar ligt dan de grens? Hoe zorg je dat de interactie tussen de bijna-autonome robot en de mens goed verloopt? Als die auto 99 procent van de tijd zelfrijdend is, maar die ene procent van de tijd op de mens vertrouwt, kan het goed mis gaan. Die mens is dat niet meer gewend, of is nietsvermoedend iets anders aan het doen. In de luchtvaart is dat een bekend scenario. Als er iets fout gaat, neemt de piloot het van de automatische piloot over, maar de piloot is daarop getraind. Als je nu robots in de maatschappij brengt, kun je niet verwachten dat gebruikers er helemaal bovenop zitten en elk detail van de robot begrijpen.

Kijk je naar de maatschappij, naar het tempo waarin dingen zich ontwikkelen en in hoeverre we begrijpen wat er allemaal gaande is, dan kunnen we dat ook haast niet bijhouden. Neem real-time trading, waarbij bedrijven veel geld verdienen met transacties die op een tijdschaal van microseconden plaatsvinden. Niemand begrijpt hoe dat werkt of wat de precieze gevolgen hiervan kunnen zijn.

Hoe zorgen we er nu voor dat het straks niet uit de hand loopt met technieken die zo slim zijn dat ze een bovenmenselijke prestatie kunnen leveren? Dat zijn interessante discussies, die je niet moet vermijden. De complexiteit van het brein is weliswaar zo enorm, dat het nog twintig jaar kan duren, maar het gaat een keer gebeuren. Dat zet ons wel voor een lastig filosofisch probleem, want als die Kunstmatige Intelligentie in de 'cloud' zit, kun je het niet zomaar uitzetten. Een verstandig uitgangspunt is dat je bij elke stap die je maakt, in het onderzoek of bij de implementatie, er zeker van bent dat het de juiste stap is. Dat je bewijsbaar kunt aantonen dat het systeem niet uit de hand kan lopen en dat je zo min mogelijk risico neemt bij het verbeteren van dat systeem. Dat principe kun je niet loslaten.

Vliegend onderwijs

Alexander in 't Veld is universitair docent bij de Faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek (LR). Hij is ook piloot van het onderzoeksvliegtuig van de TU Delft, de Cessna Citation. In 2015 werd hij uitgeroepen tot beste docent van de hele universiteit: 'Het helpt als je de droge theorie een beetje smeug kunt maken.'

Als klein jongetje wilde ik al piloot worden. Of metselaar. Een buurman metselde eens een muurtje in zijn tuin en daar heb ik met open mond naar staan kijken. Mijn ouders adviseerden me om dan maar piloot te worden, dan kon ik altijd nog in mijn vrije tijd muurtjes metselen. Eenmaal op het vwo besloot ik om Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek te gaan studeren en daarna piloot te worden, dan kon ik in de luchtvaart alle kanten op, dacht ik.'

Tijdens mijn studie heb ik dus parallel mijn brevet gehaald; ik had ook al een paar honderd uur vliegervaring in kleine vliegtuigjes, reclamevluchten en zo. Ik zag mijn afstudeerdatum met lood in mijn schoenen tegemoet, want dan moest ik gaan kiezen. Ik wilde heel graag promoveren – ik had zelfs al een promotieplaats aangeboden gekregen bij MIT, het Massachusetts Institute of Technology – maar als ik niets met mijn vliegopleiding zou doen, verliep mijn brevet. Bij mijn afstuderen kreeg ik niet alleen mijn cijfer, maar ook de vraag of ik ingenieur-vlieger wilde worden bij de TU Delft. Op die manier kon ik promoveren én vliegen; daar kon ik natuurlijk geen nee op zeggen. Ik moest toen ook colleges gaan geven; dat hoorde er gewoon bij. Onderwijs was dus geen roeping van me, maar lesgeven bleek ontzettend leuk te zijn.

Ons vliegtuig is eigenlijk een zakenjet maar dan zonder het luxe-interieur. Het is volledig omgebouwd tot vliegend

laboratorium, met meetopstellingen die voor elke vlucht worden aangepast aan het specifieke doel ervan. Dat kan van alles zijn. We vliegen wel met camera's op de neus, met extra antennes of met torpedo's met meetapparatuur onder de romp. We opereren het vliegtuig samen met het NLR, het Nederlands Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium. Ik ben manager flight operations van de gezamenlijke vliegdiens en operationeel verantwoordelijk voor alle projecten die met het vliegtuig uitgevoerd worden. Zeker als dat projecten van de TU Delft betreft, ben ik soms al twee jaar bezig met voorbereiden.

We hebben ook samen met het NLR onze eigen ontwerporganisatie, gecertificeerd door de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT). Dat betekent dat we zelf het vliegtuigontwerp mogen wijzigen, goedkeuren en inbouwen. Dat is bijzonder, want normaal gesproken mag alleen een fabrikant dat. Zo hebben wij het toestel bijvoorbeeld ook 'fly-by-wire' gemaakt, zodat je het kunt vliegen met een joystick via een computer. We kunnen nu dus een laptop aansluiten en ter plekke nieuwe programmatuur testen, bijvoorbeeld voor betere aanvliegroutes naar het vliegveld. Natuurlijk kunnen wij ook altijd ingrijpen als dat niet helemaal goed gaat, of zelfs de software aanpassen tijdens de vlucht.

Heel veel van dat onderzoek is niet per se mijn eigen onderzoek. We hebben in het verleden wel

luchtkwaliteitsonderzoek gedaan op verschillende plaatsen in de wereld voor de VN. En met de vulkaanuitbarsting op IJsland in 2010 waren wij een van de onderzoeksvliegtuigen die toch in het gesloten Europese luchtruim vlogen om monsters te nemen. We moesten meten hoeveel vulkaanas er nu werkelijk in de lucht zat. Daarvoor moest de Cessna worden aangepast met snuffelpijpjes en een deeltjesteller. Recent hebben we onderzoek gedaan naar nieuwe milieuvriendelijke naderingsprocedures. Dat borduurt wel voort op mijn eigen promotieonderzoek.

Ik promoveerde op 'continuous descent operations,' dat zijn procedures om vliegtuigen via constante glijvluchten naar de landingsbaan te laten gaan. In principe kan elke vlieger dat, maar als het druk wordt grijpt de verkeersleider in. Dan moet iedereen op een vaste snelheid en vaste hoogte vliegen en dat is vrij inefficiënt. Je kunt dan wel heel veel vliegtuigen afhandelen, maar het kost extra tijd en brandstof; laag vliegen is bovendien erg lawaaiig en die geluidsoverlast is nu juist de issue. Er zijn verschillende manieren om dat op te lossen. Ik heb gekeken of vliegtuigen zelf de afstand tot hun voorganger kunnen berekenen, zodat de verkeersleider dat niet hoeft te doen. Daarbij moet je dan zelf een optimaal profiel kunnen blijven vliegen, terwijl je wel je voorganger in de gaten houdt. In mijn scenario vlieg je met minimaal motorvermogen. Dat is vrij lastig, want het enige waar je dan



Lucht- acrobaat

'In mijn vrije tijd vlieg ik graag ondersteboven' vertelt Alexander in 't Veld, universitair docent en onderwijspiloot. 'Dat doe ik al jaren. Het is de ultieme vrijheid. Burgerpiloten worden opgeleid om niet te schuin en niet te snel van A naar B te vliegen. Vervolgens gaan we dat met hele grote vliegtuigen doen en in de nacht, met slecht weer, onder moeilijke omstandigheden. Daar worden we heel erg goed in, maar we gebruiken nog steeds maar een heel klein deeltje van wat het vliegtuig kan. Mensen die gaan vliegen denken dat je dan zo vrij als een vogel bent. Maar je moet op een exacte koers en hoogte vliegen, anders krijg je een verkeersleider op je nek. Als je echt vrijheid wilt voelen, dan moet je ook eens recht omhoog of naar beneden of om je as draaien. Die vrijheid heb je alleen bij aerobatics, luchtacrobatiek. Het is ook echt terug naar de basis van het vliegen. Het draait alleen om je hoogte- en snelheidsmeter, en je hand-voet-oogcoördinatie.'

nog mee kunt spelen zijn de 'flaps' en het moment dat je het landingsgestel neerlaat. Dat landingsgestel geeft veel weerstand, dus doe je dat te vroeg, dan haal je de baan niet. Doe je het te laat, dan zit je te dicht op je voorganger. Doe je het precies goed, dan haal je de baan zonder gas bij te moeten geven.

Mijn colleges hebben inhoudelijk niets met mijn onderzoek te maken. Ik geef het vak Flight Dynamics aan derdejaars bachelorstudenten. Flight Dynamics gaat over de stabiliteit en de bewegingen, dus de besturingseigenschappen, van een vliegtuig. Dat sluit wel naadloos aan bij mijn achtergrond als vlieger. Mijn voorganger, professor Bob Mulder, was ook vlieger en van hem heb ik nog les gehad. Het vak sprak me als student al aan omdat het de theorie uitlegt achter wat je meemaakt in het vliegtuig. Lees je het boek dan is die theorie best droge kost, met veel wis- en natuurkunde. Het helpt als je dat een beetje smeug kunt maken. Je kunt het soms linken aan een vliegtuigongeluk, dan blijkt uit het sommetje dat ze oplossen waarom het fout ging. Dan is het geen sommetje meer, maar vertelt het je iets over wat het vliegtuig doet. Dat is goud waard.

De vergelijkingen zullen studenten toch ook echt moeten kunnen oplossen. Het blijft een ingenieursvak. Die theoretische vorming doen we hier in Delft heel goed,

en studenten pakken dat ook goed op. Maar het kan zeker geen kwaad om af en toe te laten zien hoe de theorie ingrijpt op de praktijk. Kijk, we beginnen vaak met allesomvattende vergelijkingen. Vervolgens gaan we afstrepen: we nemen aan dat dit nul is en dat een constante, enzovoort. Het sommetje dat er dan overblijft, is nooit een probleem voor studenten. Maar ik wil ze een case kunnen voorleggen, waarbij ze dan zelf die vereenvoudiging kunnen maken. Daar moeten ze gevoel voor krijgen. Ik wil ook dat ze begrijpen hoe het ontwerp ingrijpt op de prestatie. Dat ze snappen hoe je het ontwerp kunt aanpassen als een vliegtuig instabiel is. Dat dat kan bijvoorbeeld door de vleugels onder een grotere hoek te zetten, of meer naar achteren. Ze hoeven bij dit vak geen volwaardige vliegtuigontwerpers te worden, als ze maar snappen hoe bepaalde ontwerpkeuzes invloed hebben op de vliegeigenschappen.

Het vliegpracticum is daar heel belangrijk voor. In groepjes van zes nemen we alle studenten mee voor een onderzoeksvlucht. Dat doe ik samen met mijn collega; de een vliegt, de ander legt uit. Op basis van de theorie moeten studenten vooraf een model maken en uitrekenen wat het vliegtuig zal doen tijdens de vlucht. Als er dan gebeurt wat ze berekend hebben, is dat hartstikke leuk. Dat geeft ze het vertrouwen dat

‘Dat ze de berekening kunnen uitvoeren, weten we wel. Snappen waarom je het doet en wat het betekent, daar gaat het om’

het rare sommetje ook echt is wat het vliegtuig doet. Want je kunt het wel berekenen in een programma als Matlab, maar pas als je gaat vliegen ervaar je hoe zo’n diagram er in de praktijk uitziet. Ze leren ook met meetopstelling omgaan. In het college ben je vaak clean sommen aan het maken, die heel mooi uitkomen. In de praktijk weet je sommige dingen nauwkeurig en andere dingen niet. Daar moet je gevoel voor proportie voor krijgen.

Bob Ross is een vaste waarde in mijn college. Dat is een landschapsschilder uit de jaren zeventig die live op tv landschappen schilderde. Niet met mooie penselen, maar met brede blokkwasten en plamuurmessen. Hij stond die verf tegen dat doek aan te gooien, maar er kwamen toch altijd hele gedetailleerde landschapjes uit, met bergpieken, sparrenboompjes en kabbelende beekjes. Hij deed dat op een hele kalmerende, bijna therapeutische manier. Heerlijk ontspannen met een rustige stem. Dat is een beetje dezelfde ervaring die studenten in college hebben. Ze zitten in een lekker warm zaaltje met een kopje koffie erbij, en dan staat daar een man over vergelijkingen te praten. Dan zie je ze denken: ‘hm, angle of attack gedeeld door V-kwadraat, dat lijkt wel uit te komen, ja.’ Maar het probleem met Bob Ross is dat als jij zelf de geest krijgt en die verf in de verfwinkel gaat kopen, je

er waarschijnlijk in eerste instantie niets van bakt. Dat is mijn wake-up call, dat ze wel zelf aan de slag moeten met het materiaal.

Ik begrijp ook wel dat studenten niet alle hoofdstukken keurig voorbereid hebben voor ze naar college komen. Mijn vak valt in een drukke periode in het curriculum. Daar is al vaak genoeg naar gekeken, maar het blijft gewoon druk, met andere vakken met deadlines. Het is ook niet zo dat je het een keertje door kunt lezen en het dan begrijpt. Dus je moet ze door de stof heen loodsen en laten zien hoe ze het moeten aanvliegen, waar ze moeten beginnen in zo’n vraagstuk. Het risico is dat mensen dan denken, oh, hij legt het wel uit. Dus het blijft een gevecht.

Tot groot verdriet van de onderwijsvernieuwers ben ik nog zo’n mastodont die met een krijtje voor het bord staat. Het voordeel daarvan is, dat studenten denken: ‘straks veegt hij het uit’ of ‘als ik niet kom, weet ik het niet’. Dit is dus wel de oervorm van activerend onderwijs. Als je het zelf staat af te leiden, werkt dat veel beter dan als je ze een slide laat zien. Ik maak ook wel eens een foutje, dat houdt ze scherp. Aan het eind van de dag zit ik wel onder de krijtvlakken; ik ben nu zo’n stoffige docent die ik nooit wilde worden. Natuurlijk is het handig dat alles online staat en dat ik geen dingen hoeft uit te delen of rond te mailen. Er zijn ook

colleges opgenomen die nu online staan en daar wordt dankbaar gebruik van gemaakt. Maar niet alles wat nieuw is, is automatisch beter. Die overheadsheets van vroeger heb ik heus wel vervangen door PowerPoint. Als je dat maar als ondersteuning van je verhaal gebruikt en niet als kruk.

Ik sta ook altijd met vliegtuigen voor de klas. Ik heb een lekker groot Playmobil-vliegtuig, al vindt mijn dochtertje van twee het niet zo leuk als ik het meeneem. In het kader van het aanschouwelijk onderwijs werkt zo’n vliegtuig tien keer beter dan dat je dingen gaat proberen te tekenen. Studenten mogen ook een modelvliegtuigje meenemen naar het tentamen. Sommigen komen dan met hele mooie modelletjes aanzetten, anderen gebruiken gewoon een geodriehoek met een pen eraan. Dit vak heeft eindeloos veel coëfficiënten die positief of negatief moeten zijn. Er zullen ongetwijfeld mensen zijn die dat uit hun hoofd kunnen leren. Maar kun je het beredeneren met behulp van je modelvliegtuigje, dan begrijp je het ook echt en doe je het nooit meer fout. Dat ze de berekening kunnen uitvoeren, weten we wel. Snappen waarom je het doet en wat het betekent, daar gaat het om.



Langzaam verkeer heeft snel kennis nodig

Professor Serge Hoogendoorn is hoogleraar Verkeersmanagement aan de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen (CiTG). In 2015 ontving hij een ERC Advanced Grant voor vijfjarig onderzoek naar verkeerstheorie voor voetgangers en fietsers. 'Lopen en fietsen worden vooral in steden steeds belangrijker; in een stad als Amsterdam is het al de belangrijkste vorm van vervoer,' aldus Hoogendoorn.

Als 17-jarige wilde ik iets in de bèta-hoek doen – ik was immers goed in wis- en natuurkunde en ik vond het nog leuk ook – óf iets met beeldende kunst. De kunstacademie trok me enorm, maar uiteindelijk leek een studierichting met meer zekerheid op een redelijk betaalde baan me toch verstandiger. Na het bezoeken van de open dagen van de TU Delft was de keuze uiteindelijk snel gemaakt. Het werd technische wiskunde.

Dat bleek me goed te liggen. Wat me het meeste boeide, waren de vakken waarin het toegepaste karakter van de studie meer naar voren kwam. Echt inspirerend vond ik de systeemtheorievakken, waarin je leerde hoe je systemen kunt bemeten, in wiskundige relaties vatten, en vervolgens analyseren en optimaliseren. Inspirerend én uitdagend. Ik koos mijn afstudeeropdracht na het volgen van het vak 'optimaal regelen van gedistribueerde parametersystemen': na drie colleges was ik het spoor volledig bijster en dat kon ik niet uitstaan. Na mijn afstuderen moest ik eigenlijk in militaire dienst, maar vlak daarvoor kreeg ik een telefoontje van mijn afstudeerhoogleraar: er was een promotieplek over het modelleren en optimaliseren van verkeersstromen. De dienstplicht heb ik uiteindelijk nooit meer vervuld.

Mijn onderzoeksterrein gaat over het waarnemen, begrijpen en modelleren van verkeersstromen in netwerken. Doel is om met die kennis en modellen het ontwerp, de planning en de afwikkeling van het verkeer te verbeteren. De verkeersafwikkeling verbeteren kun je op allerlei manieren doen, bijvoorbeeld door systemen in het voertuig die het rijden ondersteunen of door het van buitenaf beïnvloeden van de verkeersstroom met behulp van verkeerslichten en toeritdosering. Mijn interesse gaat vooral uit naar de sturingsprincipes om dat zo goed mogelijk te doen. Ik wil bijvoorbeeld graag snappen hoe je verkeersstromen over de routes in een netwerk het beste verdeelt om congestie te minimaliseren. Of je dat dan doet via informatiepanelen langs de weg of via systemen in de auto, is volgens mij niet de essentiële vraag. Toch merk ik dat in de praktijk juist veel aandacht uitgaat naar de discussie of dit nu 'in-car' of 'roadside' moet.

We doen fundamenteel wetenschappelijk onderzoek vanuit een toegepast perspectief. Dat begint meestal met het verzamelen van data, uit de praktijk of soms ook via rijnsimulators of enquêtes. Die data geven inzicht in het gedrag van weggebruikers en dat inzicht leidt weer tot theorie en wiskundige modellen.

Tijdens mijn Vidi-onderzoek registreerden we het rijgedrag van automobilisten op snelwegen vanuit een helikopter. Grondige studie van deze gegevens leerde ons hoe we die in nauwkeurige modellen konden vatten. Die modellen kunnen we dan bijvoorbeeld gebruiken om te voorspellen wat er gaat gebeuren als het aandeel vrachtverkeer met twintig procent zal toenemen of als we de maximumsnelheid verhogen of verlagen. Vervolgens kun je nadenken over het optimaliseren van het verkeerssysteem. Dat kan met eenvoudige scenario's als een inhaalverbod of het toevoegen van een rijstrook, of met elegante wiskundige optimalisatietechnieken.

Die optimalisaties wil je ook in de praktijk kunnen toetsen. De Praktijkproef Amsterdam (PPA) is daar een mooi voorbeeld van. Het is de eerste grootschalige pilot met gecoördineerd netwerkbreed verkeersmanagement (GNV) ter wereld. We werken in dat project in opdracht van Rijkswaterstaat samen met het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, de gemeente Amsterdam, de provincie Noord-Holland, de stadsregio Amsterdam, en een aantal bedrijven. Doel is om de verkeerssituatie in en rond Amsterdam te verbeteren. Dit kan door de verschillende

Over de grens

Het onderzoek van professor Serge Hoogendoorn en zijn collega's strekt zich niet alleen uit over disciplines, maar ook over landsgrenzen. 'We zijn bezig met het opzetten van een praktijkproef in Melbourne vergelijkbaar met die we in Amsterdam hebben uitgevoerd,' vertelt Hoogendoorn. 'Dit doe ik samen met professor Hai Le Vu, van de Swinburne Universiteit in Melbourne, waar ik ook een aanstelling heb als gasthoogleraar. De problematiek is daar echt anders, dus ik verwacht ook weer veel van deze nieuwe proef te leren. Kernprobleem is dat het snelwegennet niet 'af' is: de snelweg gaat over in een stedelijke verbindingsweg om vervolgens weer snelweg te worden. Dit leidt tot grote problemen doordat het verkeer niet makkelijk de stad in kan rijden. We zijn nu bezig om de meet- en sturingsaanpak aan te passen aan deze situatie. Dat zal nog een hele klus worden, ook omdat de actuele verkeersgegevens daar van veel mindere kwaliteit zijn als in Nederland.'

daar beschikbare maatregelen als verkeerslichten, toeritdosering en zo goed mogelijk op elkaar af te stemmen. Doe je dat verstandig, dan bereik je een aanzienlijke verhoging van de doorstroming in het netwerk.

Naast het verminderen van files leidt zo'n proef ook tot veel nieuwe inzichten. Sommige van de gevestigde ideeën over wat belangrijk is bij het sturen van verkeersstromen blijken toch niet zo belangrijk als werd verondersteld. Zo bleek dat het voorspellen van het exacte moment dat de file ontstaat niet mogelijk is, maar hier in feite ook niet nodig is: beter adequaat reageren dan verkeerd anticiperen. Nauwkeurig weten waar de wachtrijen staan en hoe lang ze zijn blijkt veel belangrijker voor GNV, maar ook informatie over de routes die de automobilisten kiezen. Voor deze praktijktoepassing is de vraag dus hoe we een beter beeld kunnen krijgen van de huidige verkeerssituatie. Zogenaamde 'floating car data' – informatie van navigatiesystemen en smartphones in auto's – kan hier helpen.

Mijn ERC Grant zie ik als erkenning voor de kwaliteit van het werk binnen mijn groep; met het geld kunnen we ook weer prachtig en baanbrekend nieuw onderzoek doen. Ik denk dat het onderwerp langzaam verkeer de komende jaren steeds belangrijker gaat worden. Niet alleen vanuit een wetenschappelijk perspectief, maar omdat lopen en fietsen vooral in volle steden steeds vaker de belangrijkste vorm van vervoer is. In Amsterdam is dat al zo, met alle voordelen op het gebied van bereikbaarheid, leefbaarheid en gezondheid van dien. We moeten dan

wel zorgen dat lopen en fietsen in de stad aantrekkelijk blijft. De fietsfile is hot, stallingsproblemen bij stations halen regelmatig het nieuws, maar de interactie van de fiets en voetganger met andere soorten verkeer kan ook veiligheids- en doorstromingsproblemen opleveren. Nu, maar ook in de toekomst wanneer zelfrijdende voertuigen hun entree maken. Er is meer kennis nodig om dit soort problemen het hoofd te kunnen bieden en er slimme oplossingen voor te bedenken.

Sinds eind jaren negentig pionieren wij met het waarnemen en beheersen van voetgangersstromen en mensenmassa's. En met succes. Inmiddels zijn we een van de belangrijkste onderzoeksgroepen ter wereld op het gebied van loopstroomtheorie en 'crowd management'. In de verkeerskunde krijgt het autoverkeer echter nog steeds meer aandacht dan voetgangers en al helemaal dan fietsers. Ik denk dat dat te maken heeft met de impact van de auto en autoverkeer (en de files) op de mens en de maatschappij. Denk aan zaken als de economische impact van congestie, de frustratie die de file bij veel mensen oproept, de vrijheid die de auto mensen lijkt te bieden of de status die mensen aan hun auto ontnemen. Gegeven de steeds verdergaande verstedelijking is het zaak de focus te verleggen naar stedelijke mobiliteit, inclusief autoverkeer en stedelijk openbaar vervoer, maar dus ook naar de fietser en de voetganger. Dit wordt voor mij echt het speerpunt in de komende jaren.

De auto is lang niet altijd het meest aantrekkelijke vervoermiddel: in veel drukke steden is het makkelijker en

'Inmiddels zijn we een van de belangrijkste onderzoeksgroepen ter wereld op het gebied van loopstroomtheorie en 'crowd management'

goedkoper om van A naar B te lopen of te fietsen. Daar komt nog eens bij dat met het steeds drukker worden van onze steden, inclusief onze stations en andere publieksruimtes, ook de ruimte voor de fiets en voetganger schaarser wordt. De roep om het beter benutten van deze ruimte wordt steeds groter; dit om veiligheid, bereikbaarheid en comfort te kunnen blijven garanderen. Daarmee krijgen fietsen en lopen dus steeds meer aandacht. De heilige koe wordt de komende jaren dus misschien net iets minder heilig. Jonge mensen van nu vinden het hebben van een auto mogelijk ook niet meer zo vreselijk belangrijk als twintig jaar geleden.

Waar het ons uiteindelijk om gaat

is de wetenschappelijke uitdaging. Het vakgebied staat in zekere zin nog in de kinderschoenen. Er zijn nauwelijks wiskundige modellen en verkeerskundige theorie die het gedrag van fietsers beschrijven. Bij loopstromen en menigten hebben we in het verleden goede eerste stappen gezet, maar ook daar zijn we nog ver verwijderd van een algemeen geaccepteerde theorie. Gek is dat niet. Aan de ene kant is het gewoon lastig: het gaat om het gedrag van heel veel individuen die allemaal hun eigen beweegredenen hebben, die - vaak onbewust - met elkaar communiceren en interacteren en zich in alle richtingen bewegen. Aan de andere kant zijn er nauwelijks data beschikbaar. Mondjesmaat komen er nu gegevens beschikbaar en kunnen we methoden ontwikkelen om het gedrag van fietsers en voetgangers te modelleren. De beurs biedt een fantastische mogelijkheid om aan de basis van deze ontwikkeling te staan.

Dat doen we niet in een vacuüm.

Mobiliteit is per definitie een multidisciplinair domein. We werken al jaren met wetenschappers uit verschillende disciplines samen. Mijn Vici-onderzoek bijvoorbeeld, had als doel het modelleren en managen van verkeer en vervoer bij uitzonderlijke omstandigheden en rampen. In het onderzoeksteam zaten psychologen, civiel ingenieurs, wiskundigen, experts op het gebied van simulatie, en informatici. In deze samenwerking hebben we grote stappen kunnen maken, niet alleen in het beter begrijpen van het gedrag van mensen tijdens extreme situaties, maar ook in het formaliseren van dergelijke kennis in wiskundige modellen. Gedrag is natuurlijk belangrijk. Files op de weg of loopstromen in een drukke winkelstraat: het is het uiteindelijke resultaat van menselijk gedrag. Gedrag op heel veel verschillende niveaus: de 'split-second' beslissing die je neemt als je voor een overstekende voetganger remt, of de beslissing op langere termijn die je neemt als je bedenkt morgen op de fiets naar kantoor te gaan in plaats van met de auto.

Die multidisciplinaire samenwerking

zie je ook terug binnen het Amsterdam Institute for Advanced Metropolitan Solutions (AMS). Als Principal Investigator voor het thema Mobiliteit probeer ik samen met de mensen bij AMS het onderzoek op het gebied van stedelijke mobiliteit waar mogelijk te combineren met vraagstukken en oplossingen uit andere sectoren. Belangrijk hierbij is dat we de stad zien als een Living Lab, dus dat we beogen zaken uit te proberen zodat we leren-door-te-doen en niet door achter het bureau te blijven puzzelen. Een dergelijk lab is

echt nodig om tot robuuste oplossingen te komen voor de weerbarstige praktijk. Voor het ERC-onderzoek is AMS ook van groot belang. De nauwe relatie met de gemeente en andere partners maakt het mogelijk om data te verzamelen en experimenten te doen in de stad. Dat kan een groot project zijn als het inrichten van het Urban Mobility Lab, maar ook een kleiner initiatief als het uitrusten van de fietsen van de AMS-medewerkers met GPS. AMS bestaat bovendien uit een groep zeer enthousiaste en gedreven mensen met wie ik met groot plezier samenwerk.

Voor grotere projecten als de Praktijkproef Amsterdam is de samenwerking met bedrijven en overheden ook essentieel; die krijg je als TU Delft alleen echt niet van de grond. Door intensief met bedrijven als INCONTROL Software Solutions samen te werken krijg je bovendien goed zicht op waar men in de praktijk nu echt tegenaan loopt en waar dus behoefte aan is. Ik zie vaak dat wetenschappers aannames doen over waar de praktijk op zit te wachten zonder echt met de praktijkmensen in contact te treden. De kloof is vaak te groot, wat ik eerlijk gezegd voor een vakgebied als het onze niet acceptabel vind. Het is precies daarom dat mijn groep naast het fundamentele werk ook veel toegepast onderzoek doet en dat iedereen bezig is met het uitdragen van kennis richting de vakwereld. Daarbij, door de intensieve samenwerking met bedrijven en overheid maak je het voor studenten ook makkelijker om buiten de deur af te studeren of een mooie stageplek te vinden.

Op grote hoogte

Studentenvereniging Delft Aerospace Rocket Engineering (DARE) lanceerde in oktober 2015 hun Stratos II+ raket tot een hoogte van 21,5 kilometer, een Europees record. Christ Akkermans, Rob Hermsen en Jeroen Wink waren lid van het winnende team en weten alles van de lange weg naar een hoogterecord.

Een grote pan paella, een kampvuur, veel sangria en tot diep in de nacht doorgaan. Op die gepaste wijze vierden het Stratos-team in oktober zijn Europees record aan het Spaanse strand. Daar was jarenlang hard werken aan voorafgegaan. Christ Akkermans, Rob Hermsen en Jeroen Wink namen het stokje over van het team dat in 2009 de Stratos I tot een hoogte van 12,3 kilometer lanceerde, destijds het Europese record voor amateur-raketten. 'Na het succes van Stratos I wilden we hoger. Het ultieme doel is om de ruimte te bereiken, dus niet in een baan om de aarde maar 100 kilometer hoog, buiten de atmosfeer,' vertelt Christ Akkermans. Als tussendoel werd – arbitrair – vijftig kilometer gehanteerd. 'Daarvoor moesten we wel over op een veel krachtiger brandstof of op een ander motortype. Dat was toen nog een heel open vraag.'

Vuurpijl

Jeroen Wink zat in het team dat die vraag moest beantwoorden: 'Voor Stratos I gebruikten ze een vaste stuwstof. Simpel gezegd is dat een soort vuurpijl, met de brandstof en de oxidator in een pakketje. Dat is niet heel erg efficiënt.' Daarom viel de keus uiteindelijk op een hybride motor met vaste brandstof en een vloeibare oxidator. 'Dat was vooral een veiligheidskwestie,' legt Rob Hermsen uit. 'Je kunt die vaste stuwstof nog wel krachtiger maken, maar dan moet je overstappen op hele explosieve en giftige stoffen; dat wilden we niet.' Een andere technologie dus, met alle

kinderziekten van dien. 'We begonnen op heel kleine schaal en bij het eerste prototype dat we testten, lekte er van alles. Je leert van je fouten,' vertelt Wink. 'In het begin hadden de motoren maar tien tot vijftig kilo stuwkracht, dat konden we nog gewoon op de campus testen. Na een paar jaar konden we opschalen naar 1.000 kilo. Daar kwam ineens zoveel bij kijken.' Ter verduidelijking, met duizend kilo stuwkracht kun je een auto optillen. Om veiligheidsredenen was het niet langer mogelijk dat op de campus te doen, maar gelukkig stelde TNO Rijswijk haar onderzoeksfaciliteiten ter beschikking. 'Dat was wel onder strenge veiligheidsvoorwaarden. We moesten heel veel laten zien op het gebied van risicoanalyse. Dat dwong ons om nog eens goed naar alles te kijken en ons ontwerp te verbeteren, maar ook om na te denken over het aansturen van mensen.' 'We hebben ook allerlei procedures moeten doorlichten,' vult Hermsen aan, 'bijvoorbeeld in welke volgorde je alles moet aansluiten om de raket veilig te kunnen vullen met brandstof.' Ook de brandstof zelf zorgde voor logistieke hoofdbrekens. 'Vroeger ging dat om een paar kleine gascylinders, nu hadden we veel meer nodig, en niet alleen in Delft maar later ook in Spanje. Er kwam iedere dag wel iets bij waar niemand nog ervaring mee had.' Dat was in 2013; in 2014 vond de eerste lancering in Spanje plaats, op de lanceerbasis in de buurt van Huelva. 'Zo'n eerste lanceerpoging gaat nooit helemaal goed, al hoopten

we stiekem natuurlijk van wel,' aldus Wink. 'We moesten nog heel veel leren over operations. Dat hadden we voor de statische tests wel op een rijtje, maar bij een lancering komt veel meer kijken.' Het Flight Termination System, bijvoorbeeld, is een essentieel onderdeel. 'Dat is het systeem waarmee je vanaf de basis de vlucht kunt onderbreken omdat de raket anders ergens verkeerd neer zou komen,' legt Akkermans uit. 'Dan wordt de motor uitgeschakeld en je kunt ook de parachute uitgooien om af te remmen. Dat FTS moesten we nog ontwerpen.' Wink vult aan: 'Er is dan een bepaald gebied op zee afgebakend waar hij veilig kan landen. De raket wordt met radar gevolgd en je rekent continu uit waar hij neerkomt als je op dat moment de motor uitschakelt. Is dat te dicht bij de grens van het veilige gebied, dan moet je ermee stoppen.' Dat systeem moet dus niet alleen met de andere systemen in de raket communiceren, maar ook met de basis. 'Het was heel lastig om een systeem te ontwikkelen dat heel snel gaat, maar dat wel radiosignalen moet oppikken. Daar hebben we maanden hoofdpijn van gehad. Gelukkig kregen we wel hulp van de afdeling Space Exploration met het doorrekenen van de raketbanen,' vertelt Akkermans. Dat FTS kon pas getest worden tijdens de lancering zelf. Toen bleek er het een en ander aan te schorten. 'Eigenlijk probeerden we een prototype te lanceren. Alle systemen waren apart ontwikkeld en later samengevoegd. Daar



Even voorstellen

Christ Akkermans is bezig aan een masteropleiding bij de faculteit Luchtvaart- en Ruimtevaarttechniek (LR). Hij is al een jaar of vier bij DARE betrokken en is sinds 2014 verantwoordelijk voor de sponsoring en PR. Voor zijn afstudeerproject houdt hij zich binnen het Stratos-project bezig met de ontsteker van de raketmotor op vloeibare zuurstof en vloeibaar methaan.

Rob Hermsen is ook masterstudent bij LR. Hij was de teamleider van Stratos II. Na een stage bij Airbus keerde hij terug bij Stratos II+, waar dankbaar van zijn ervaring gebruik werd gemaakt. Ook hij is aan het afstuderen en richt zich daarbij op het leidingsysteem van de raketmotor op vloeibare zuurstof en vloeibaar methaan, ofwel het cryogenic propellant feed system. Ook Jeroen Wink is masterstudent bij LR en al vier jaar lid van DARE. Hij begon met het ontwerp van de hybride voorstuwing van Stratos II en volgde Hermsen op als teamleider. Ook hij gaat binnenkort afstuderen op de raketmotor, in het bijzonder op de injectie van de vloeistof en de daarmee samenhangende verbrandingsstabiliteit.

viel nog veel winst te behalen,' bekennt Wink. De lancering mislukte, maar de opgedane ervaring was cruciaal. 'We hebben daarna besloten om het opnieuw te gaan proberen, omdat we toch wel heel dichtbij gekomen waren.' Terug naar de tekentafel dus, en na een maand analyseren lag er een lijst met vijftien verbeterpunten op het gebied van de technische systemen, de logistiek en operations en het projectmanagement. Hermsen: 'We hebben de verbeterde versie uiteindelijk Stratos II+ genoemd, want het basisontwerp was hetzelfde, maar het was toch wel grotendeels een nieuwe raket.'

Lancering

De Stratos II+ ging dit najaar op transport naar Zuid-Spanje voor een nieuwe lanceerpoging en het team stapte op het vliegtuig. Afgezien van wat zoekgeraakte koffers met last-minute onderdelen leek alles soepel te verlopen. Tot de eerste lanceerdag. 'Je bent bijna een hele dag bezig voor je op die knop kunt drukken,' vertelt Hermsen. 'En toen het zover was, kwam er alleen een hoop rook uit.' Heel even twijfelde het team of het project misschien niet toch te hoog gegrepen was voor een groep studenten. Veel tijd om daar over na te denken was er echter niet. De weersvoorspellingen waren niet goed, en ook de veiligheidszone kan maar een beperkt aantal dagen afgesloten worden. 'We hadden nog maar een paar dagen speling. Dus hebben we in alle haast de raket uit de toren gehaald en zijn we gaan uitzoeken wat er aan de hand was. Na twee uur was dat gelukkig al duidelijk en nog een paar uur later

hadden we een oplossing.' Het probleem bleek te zitten in een zijlijntje dat zorgt voor het voorverwarmen van de brandstof en was gelukkig eenvoudig te verhelpen. Vrijdag 16 oktober om half vijf was de nieuwe poging. 'Als je hem op ziet starten denk je, yes, maar die motor moet 23 seconden werken en dat is ook het venster van het FTS-systeem,' zegt Akkermans. Wink vult aan: 'Je hebt in de toren dus een seconde gejuich, maar daarna moet je weer stil zijn, want er moet berekend worden of je doorvliegt of gaat stoppen. Na 23 seconden gaat de motor uit, en kun je er niets meer aan doen.' Hermsen: 'Die vlucht duurt in totaal acht minuten, tegenover vijf jaar werk. En daarna blijft het spannend. Hoe hoog komt hij, werkt de parachute, hoe landt hij, wordt hij nog teruggevonden?' Gelukkig konden ze de veilige landing volgen via de camerafeed en een half uur later hoorden ze van de toren dat de capsule was gevonden. En het belangrijke nieuws dat de recordpoging geslaagd was. Daarmee zat het werk er nog niet op. 'Om een uur of zeven kwam de capsule terug op de basis, die hebben we toen gelijk opengemaakt,' vertelt Hermsen. Alle data en videobeelden moesten eruit worden gehaald en backups gemaakt. 'We hebben zo snel mogelijk alles online gezet, ook de camerabeelden van op de basis. Dat is nog veel nazorg, maar de stress is dan weg en je ervaart een euforische high.' Uit de data bleek dat de motor en alle overige systemen bijna perfect hadden gewerkt. Waarom werd dan die vijftig kilometer niet gehaald? 'Dat is een complex verhaal,' stelt Wink. 'Misschien

‘Je wordt zeker een betere ingenieur van de praktische ervaring die je hier opdoet’

was de raket te zwaar omdat we iets te veel oxidator hadden getankt, mogelijk door een defecte sensor. Dan kom je net iets langzamer de toren uit en ben je iets minder stabiel waardoor je wat meer de wind inkeert. Dan ga je vlakker vliegen en blijf je langer in die dichte atmosfeer waar je meer weerstand hebt.’ Hermsen: ‘Als je die 21,5 kilometer met die 50 kilometer vergelijkt, lijkt het of je maar 40 procent gehaald hebt, maar qua energie kwamen we maar tien of vijftien procent tekort. De hoogte is eigenlijk geen goede graadmeter.’ Dat betekent wel dat ze het record misschien straks uit handen moeten geven. ‘Er zijn steeds meer universiteiten die het cool vinden,’ aldus Wink.

Supergaaf

Wat is er dan zo ‘cool’ aan het raketbouwen? ‘Ik vond vliegtuigen en alles wat hard ging altijd al gaaf, dan is

ruimtevaart inkoppen,’ vertelt Akkermans. Dat ze raketten vooral supergaaf vinden, geldt voor de meeste leden. Dat moet ook wel, want er gaat veel tijd in zitten, waar weinig of geen studiepunten tegenover staan. Toch kun je er als student veel uithalen. ‘Je wordt zeker een betere ingenieur van de praktische ervaring die je hier opdoet.’ Dat kan je carrière dus op weg helpen, maar dat is niet de enige reden dat ruimtevaartbedrijven de studenten van DARE met belangstelling volgen. ‘Je ziet ook commercialisering van de ruimtevaart. De dynamiek in zulke bedrijven is aan het veranderen en daarmee de eisen die er aan de techniek en de mensen gesteld worden,’ stelt Wink. ‘De ruimtevaart wil ook kosten reduceren, en als studenten zijn we gebonden aan een laag budget. Dat dwingt ons tot creatief denken om effectief met middelen, tijd en hardware om te gaan.’

Een van die creatieve ideeën was het gebruik van een brandstof van onschuldig sorbitol, paraffine en aluminiumpoeder. Vanwege de sorbitol kreeg de Stratos II+ in de media de naam ‘zoetjesraket’. Of de Stratos III straks de ruimte gaat halen op zoetjes en kaarsvet is nog maar de vraag. ‘Stratos II is klaar; we zijn nu in allerlei projecten aan het kijken hoe we naar de ruimte kunnen. Hoe dat in de toekomst samenkomt, is niet meer aan ons,’ concludeert Hermsen. Wel geven ze hun opvolgers nog een zetje in de goede richting. Akkermans: ‘Een van die problemen is dat de raket te veel de wind in draait en te lang in die dichte atmosfeer blijft zitten. Wat je daaraan zou kunnen doen, is de raket actief stabiliseren met beweegbare vinnen, zodat hij geen last heeft van de wind. Dat is ook weer zo’n open vraagstuk.’ Wie pakt de handschoen op?

Testplatform voor ruimtevaart

DARE is sinds 2005 een zelfstandige vereniging. ‘Als studentenvereniging stellen we onze eigen doelen. Er wordt niet door de TU Delft of een bedrijf gezegd wat we moeten doen,’ vertelt Rob Hermsen. Wel zijn de banden met de faculteit erg goed. ‘Docenten helpen ons met kennis en advies en met contacten met bedrijven.’ De samenwerking gaat steeds vaker twee kanten op. ‘Met

sommige hardware en operationele systemen hebben wij veel ervaring. Dus er wordt steeds vaker een beroep op ons gedaan bij practica of experimenten in het onderwijs,’ aldus Jeroen Wink. ‘Die kruisbestuiving werkt heel goed.’ Christ Akkermans: ‘De wisselwerking zit hem ook in al die mensen die bij ons afstuderen. We hebben inmiddels wel bewezen dat we meer zijn dan een

hobbyclub.’ De activiteiten van DARE worden steeds meer een testplatform voor ruimtevaart, binnen de TU Delft en daarbuiten. ‘Met Stratos II+ vloog een payload mee van de Radboud Universiteit voor een radioastronomie-experiment. Daar kun je bij ons ervaring mee op te doen op een kosteneffectieve manier,’ zegt Wink.



Datawetenschap met een eigen draai

Dr. Alessandro Bozzon is universitair docent aan de faculteit Elektrotechniek, Wiskunde en Informatica (EWI) en een expert op het gebied van sociale datawetenschappen. Hij heeft de leiding over het Social Glass-project, dat als doel heeft met behulp van sociale media inzicht te verschaffen in stedelijke omgevingen.

Internet en het web hebben de manier waarop we data produceren en gebruiken radicaal veranderd. Op het web is nu een gigantische hoeveelheid data te vinden over alle aspecten van het menselijk leven. Maar data worden gemaakt door mensen, en worden daarom vaak beïnvloed door de meningen en vooroordelen van de makers. 'Om computersystemen te kunnen maken die mensen persoonlijker betrekken, hebben we inzicht nodig in de relatie tussen mensen en de data die zij produceren. Om dat op grote schaal te doen moeten we als informatici soms dingen doen waar we ons normaal niet mee bezighouden,' aldus dr. Alessandro Bozzon. 'Ik zie een nieuwe generatie databeheersystemen voor het web voor me, die de cognitieve en rationele vermogens van mensen combineert met de rekenkracht van machines en de waarde van grote hoeveelheden heterogene data op het web.'

Bestaande theorieën over de interactie van mensen met de wereld kunnen daarbij van pas komen, zoals bijvoorbeeld persoonlijkheidspsychologie, maar dan uitgevoerd door middel van computationele methodes. 'Hoe krijgen we een beeld van iemands karaktereigenschappen zonder urenlang vragen te stellen? Als we dat proces op grote schaal kunnen

automatiseren, met vergelijkbare resultaten en nauwkeurigheid, dan kunnen we systemen maken die zich op basis van jouw gedrag en de data die jij produceert kunnen aanpassen aan jouw persoonlijkheid, met een aangenamere en interessantere gebruikerservaring als resultaat.'

Eén manier om dat te doen is kijken naar schrijfstijl. Zo heeft de Amerikaanse psycholoog James Pennebaker aangetoond dat je taalgebruik jou als persoon kan weerspiegelen. Simpel gesteld: de frequentie waarmee je bepaalde woorden gebruikt kan iets zeggen over je geslacht of je leeftijd en of je zelfvertrouwen hebt, bijvoorbeeld. 'Het gaat wel iets verder dan woorden tellen,' legt Bozzon uit. 'We weten dat mensen zich in verschillende omgevingen verschillend gedragen, en dat zie je terug in de manier waarop ze data produceren. Mensen hebben vaak een formele en een informele kant. Die systematische bias moet je meenemen, zeker bij een domeinspecifiek onderzoek. Wij willen robuuste, betrouwbare methodes ontwikkelen voor het inzichtelijk maken van de eigenschappen van webdata en de makers daarvan, om op basis daarvan betere systemen te maken.' Bozzon houdt zich momenteel bezig met drie maatschappelijke en industriële domeinen: stedelijke omgevingen, culturele instanties en

het bedrijfsleven. Binnen elk van die domeinen doet hij mee aan interessante projecten.

Social Glass

Binnen het Social Glass-project wordt de structuur van de stad bekeken door de lens van sociale media. Elke dag genereren mensen via sociale media enorme hoeveelheden data over het leven in de stad. Door deze data als informatiebron te gebruiken, is het mogelijk om zowel incidenten als structurele problemen, zoals demografische druk en toeristische trends, te identificeren en te bestuderen. Via de sociale media kunnen burgers actief bijdragen aan een hogere levenskwaliteit in de stad, en daarmee hun eigen welzijn. 'Met Social Glass willen we de stad leefbaarder maken, en daarvoor ontwikkelen we informaticatools,' aldus Bozzon. Social Glass gaat verder dan de manier waarop sociale media momenteel door gemeentes worden gebruikt. 'Twitter wordt nu veel gebruikt voor interactie met het publiek, maar we benutten sociale media nog niet ten volle.' Afgelopen zomer zijn Social Glass-experimenten uitgevoerd tijdens het internationale scheepvaartfestival SAIL in Amsterdam, dat in vijf dagen 2,3 miljoen bezoekers trok. 'Het experiment tijdens

Over Alessandro Bozzon

Dr. Alessandro Bozzon studeerde technische informatica en computertechniek aan de Politecnico di Milano, waar hij in 2009 promoveerde in de informatietechnologie. Hij werkt sinds 2012 aan de TU Delft, waar hij is verbonden aan de groep Web Information Systems van de faculteit EWI. Hij is lid van het Delft Data Science Initiative, is als onderzoeker verbonden aan het Amsterdam Institute for Advanced Metropolitan Solutions (AMS) en is Faculty Fellow van het IBM Benelux Centre of Advanced Studies.

‘Ik heb een achtergrond in databases en informatie-ontsluiting, waar ik in Delft les in geef,’ aldus dr. Alessandro Bozzon. ‘Ik voorzie de komende generatie technici van de kennis die zij nodig hebben om grote hoeveelheden data op schaal te verwerken en te valoriseren.’ Zijn onderzoek is gericht op sociale data. ‘Dat is data-wetenschap met een eigen draai, waarmee ik bedoel dat we de centrale rol erkennen die mensen spelen ten opzichte van data.’ Bozzon bestudeert gebruikersmodellering op basis van data en methodes om mensen te betrekken, om systemen te ontwikkelen die een bijdrage leveren aan het menselijk welzijn. ‘Als we inzicht hebben in jou en jouw doelen, kunnen we systemen ontwikkelen die zich aan jou aanpassen, met een aangenamere en interessantere gebruikerservaring als resultaat.’

SAIL draaide om crowdmanagement,’ vertelt Bozzon. ‘In samenwerking met de onderzoeksgroep onder leiding van professor Serge Hoogendoorn hebben we de mensenstroom gemonitord met behulp van diverse technologieën, zoals camera’s en sensoren én menselijke sensoren via de sociale media. Dit project heeft de toegevoegde waarde gedemonstreerd van sociale webdata, die een verhelderende aanvulling kunnen vormen op droge statistische gegevens. Waarom nemen camera’s in een bepaald gebied waar dat zich daar een lange rij vormt? Komt dat gewoon doordat een evenement veel mensen trekt, of is er iets anders aan de hand?’ Bij dat soort vragen is er behoefte aan meer informatie. ‘Je wilt zo snel mogelijk kunnen beschikken over kloppende informatie. Momenteel zijn we dit aan het testen op evenementenschaal, maar we werken aan stadsbrede oplossingen.’ Tijdens SAIL plaatsten zo’n 60.000 Twitter- en Instagram-gebruikers in totaal 226.000 berichten online. ‘Om het evenement te interpreteren hebben we gekeken naar gebruikersactiviteit die ons een beeld zou kunnen geven van hoe druk mensen het vonden, door te zoeken op woorden als “vol” of “druk”.’ Vervolgens heeft Bozzon technieken voor gebruikersmodellering toegepast om te bepalen of een gebruiker een omwonende of een bezoeker was. ‘Daardoor kunnen we meer zeggen over het verschil in perceptie van drukte tussen bewoners en niet-bewoners.’ Het bleek dat de omwonenden minder ophef maakten. ‘Toeristen zijn mogelijk niet gewend aan de grote stad, terwijl voor omwonenden een evenement als dit misschien juist een leuke afwisseling is.’ Gebruikersmodellering is onmisbaar voor wie inzicht wil krijgen in webdata. ‘De stad is van de mensen, dus de sleutel tot de interpretatie zit hem in wie zij zijn, hoe zij

leven en hoe hun culturele achtergrond er uitziet. Als je naar Twitter kijkt, dan zul je moeten weten wie er precies op Twitter zitten. Zijn dat voornamelijk mannen van in de veertig? Dan moet je voor de mening van tieners naar Instagram, bijvoorbeeld.’ En daarmee is nog niet elke groep vertegenwoordigd. ‘Je moet manieren zoeken om data te verzamelen waarin de hele groep wordt weerspiegeld. Je moet verder kijken dan de data en er zeker van zijn dat je de beoogde populatie meeneemt. Dat proces noemen wij “social sensing”, een belangrijk aspect van het Social Glass-project.’

Nog een voordeel van het gebruik van sociale data is dat informatie snel beschikbaar is. ‘Gemeentes sturen nog steeds enquêtes rond, of laten één keer per jaar een rapport over het toerisme opstellen. Maar dan ben je eigenlijk al te laat. Wij willen de tijd tussen de vraag naar informatie en de beschikbaarheid ervan verkorten.’ Er zijn plannen om de Social Glass-methode toe te passen op grotere gebieden en evenementen, zoals de Gay Pride of Koningsdag in Amsterdam. En Bozzon heeft nog grotere plannen. Volgend jaar hoopt hij niet meer op evenementenbasis te werken, maar continu, met tools voor het bestuderen van dynamiek en trends op de lange termijn, mogelijk voor meerdere steden tegelijk. ‘Wat ik voor ogen heb is een open opslagplaats, een soort collider voor onze kennis over steden, waar de behoeften van alle stakeholders in steden een plekje vinden en alle kennis voor iedereen toegankelijk is om gebruik van te maken.’

Rijksmuseum

Culturele instellingen worden zich steeds meer bewust van de intrinsieke waarde van hun collecties, die niet alleen in de voorwerpen zelf besloten ligt, maar ook in het gebruik daarvan. ‘Als collecties toegankelijk zijn en goed

'Iedereen kan een roos herkennen, maar voor de exacte soort heb je toch een botanicus nodig'

beschreven, kunnen meer mensen dan alleen museumbezoekers daarvan gebruikmaken. Maar hoe doe je zoiets op grote schaal?' vraagt Bozzon zich af. Die vraag werd door het Rijksmuseum gesteld toen men daar begon met het digitaliseren van de prentencollectie. Dat is een van de grootste collecties ter wereld, bestaande uit meer dan 700.000 prenten. Er werd geschat dat het professionele beschrijvers ruim twintig jaar zou kosten om door de gehele collectie te gaan. 'Over twintig jaar is het Rijksmuseum er natuurlijk nog wel, maar hoe kunnen we dit proces nou versnellen en tegelijk de kwaliteit van de beschrijvingen garanderen?' Daar komt nog bij dat de vereiste kennis niet altijd voorhanden is in het museum. Kunstexperts zijn zelden ook botanicus of ornitholoog. 'Wat wij nodig hebben zijn tools om sneller kennis mee te creëren. Hoe kunnen we het cognitieve vermogen van de mens systematisch en betrouwbaar inzetten om kennis te creëren?' Crowdsourcing en "human computation" kunnen daarbij uitkomst bieden. Bozzon: 'Het is voor een machine heel lastig om een vogelsoort te herkennen op een foto. En bij een tekening is het vrijwel onmogelijk, onder andere door de stijl en de interpretatie van de kunstenaar.' Het Accurator-platform is ontworpen en ontwikkeld om het Rijksmuseum – en later andere musea – te helpen bij het beschrijven van hun collectie. Dit platform wordt ook gebruikt voor onderzoek naar "niche sourcing": het vinden van mensen met specialistische kennis in een groep. 'Iedereen kan een roos herkennen,' aldus Bozzon, 'maar voor de exacte soort heb je toch een botanicus nodig.' Als je die deskundigen eenmaal hebt geïdentificeerd, wil je ze tot het einde van het project betrokken houden. 'En dan gaat persoonlijkheid weer meespelen.

Iedereen heeft andere drijfveren. Geld bijvoorbeeld, maar ook enthousiasme of status binnen een groep. Als je meedraait in een groep enthousiaste amateurs, dan is erkenning voor jouw bijdrage door de anderen misschien wel de beste manier om je betrokken te houden.'

'Inclusive enterprise': betrokkenheid op de werkvloer

In 2014 hebben IBM en de TU Delft hun krachten gebundeld in een Collaborative Innovation Center (CIC) voor onderzoek op het gebied van Big Data. 'We werken samen aan een aantal onderzoeksprojecten, waaronder een over "inclusive enterprise", voor meer betrokkenheid op de werkvloer. We willen sociale data gebruiken om het welzijn en de betrokkenheid van werknemers te bevorderen,' aldus Bozzon. Bedrijven willen uiteraard voorkomen dat werknemers stagneren door motivatiegebrek. 'Demotivatie wordt vaak veroorzaakt door een gebrek aan communicatie. Hoe groter de organisatie, hoe lastiger om informatie door de gehele organisatie te verspreiden. Je kent je collega's van één deur verder nauwelijks, je leidinggevende weet heel weinig over jou en zijn baas weet helemaal niets.' Hoe kan datawetenschap hier uitkomst bieden? 'Je kunt heel veel bruikbare informatie over werknemers en hun vakkennis halen uit de data die zij produceren, over netwerken die bestaan ongeacht de organisatiestructuur, en over de manier waarop ze communiceren. Die informatie kun je gebruiken om ervoor te zorgen dat mensen zich gewaardeerd voelen, bijvoorbeeld door ze bij projecten te betrekken die aansluiten op hun passies.' Uiteraard staat niet iedereen te trappelen om alles met de werkgever te delen. 'Daar ligt voor ons als informatici en datawetenschappers een taak, om ervoor

te zorgen dat organisaties alle nodige maatregelen voor gegevensbescherming treffen.' Bij IBM kunnen Bozzon en zijn collega's hun concept voor betrokkenheid op de werkvloer op grote schaal bestuderen: in principe kunnen alle 400.000 IBM-werknemers erbij worden betrokken. 'Dat is best een uitdaging. Naast traditionele problemen uit de informatica moeten we veilige technieken ontwikkelen waarmee we iedereen kunnen betrekken. Deelname moet vrijwillig zijn en informatie alleen selectief gedeeld, wanneer dat de werknemer ten goede komt.'

In het kader van een voorbeeldproject is onderzocht hoe werknemers het best kunnen worden benaderd door middel van een educatieve game waarbij ze meer te weten komen over het bedrijf, de technologie en hun collega's. 'Op basis van grondig wetenschappelijk onderzoek hebben we aangetoond dat deze benadering geschikt is en aangetoond hoe verschillende soorten persoonlijkheden worden aangetrokken door verschillende prikkels. Een vooroordeel over gamificatie is dat je mensen na afloop alleen maar een badge hoeft te geven. Dat is niet zo: je kunnen aanpassen en iedereen laten meedoen is waar het om draait.'

Bozzon is ervan overtuigd dat 'inclusive enterprise' de toekomst heeft. 'De jongere generatie hecht veel waarde aan een goede band met een bedrijf, een goed gevoel over wat ze doen en erkenning door het bedrijf van hun mogelijkheden en sterke kanten. Persoonlijke groei en invloed zijn belangrijk voor hen. Deze nieuwe invalshoek brengt nieuwe uitdagingen met zich mee, én fantastische kansen voor onderzoek met maatschappelijke impact.'

Het echte maakwerk

Het Practicum Modelbouw en Bewerkingen (PMB) is onmisbaar voor studenten Industrieel Ontwerpen. Manager Don van Eeden en collega Roel Franken van het PMB zien jaarlijks vele studenten komen en gaan. Ze helpen hen het verband te leggen tussen het ontwerp op papier of computer en de weerbarstige realiteit van het maakproces. ‘Je kunt niet alles van een computerscherm leren.’

Rumoerig is het PMB op zijn minst te noemen. Machinegeluiden en getimmer wisselen elkaar af in de grote ruimte: hier wordt gewerkt. Een rondgang langs de apparatuur leert dat het PMB alles in huis heeft van een simpele handzaag tot de nieuwste 3D-printers, lasersnijders en computergestuurde freesbanken en schuimmachines. Don van Eeden zwaait hier sinds 2013 de scepter. Hij begon 25 jaar geleden bij de toenmalige Centrale Werkplaats. ‘Daar was een verhuurpool en zo ben ik een keer bij Industrieel Ontwerpen terecht gekomen en nooit meer weggegaan,’ vertelt hij. Dat was in 1997. Collega en onderwijsmedewerker Roel Franken kwam negen jaar geleden bij het PMB. ‘Ik volgde een mechatronica-opleiding en kwam hier via het stagebureau van de school. Het beviel aan twee kanten goed.’ Met hun collega’s ondersteunen Van Eeden en Franken het practicumonderwijs, zoals het maken van prototypes en modellen. ‘We geven ook instructies op specifieke machines zodat studenten die zelfstandig kunnen bedienen.’

Eng

‘De werkplaats is in het begin een beetje eng voor studenten,’ zegt Van Eeden. ‘Ze zijn gewend dat ze een boek kunnen pakken en daar alles uit kunnen halen,’ vult Franken aan. ‘Hier moeten ze vragen stellen over dingen die ze op geen enkele andere manier te weten kunnen komen. Het is ook best een stap om aan ons

te laten zien wat ze bedacht hebben, want dan gaan wij erop schieten.’ Dat moet ook wel, stelt Van Eeden: ‘Wij moeten er achter zien te komen wat ze precies willen met een ontwerp en of dat uitvoerbaar is, dus daarover moet meestal flink wat gepraat worden.’ Ook zijn studenten soms voorzichtig met hun ideeën, omdat ze er een wedstrijd mee willen winnen, of misschien wel een bedrijfje starten. Daarover hoeven ze zich eigenlijk geen zorgen te maken. ‘We hebben geheimhoudingsplicht; we mogen niet zomaar overal over praten op een feestje,’ legt Franken uit. Veiligheid staat uiteraard voorop in de werkplaats. Het dragen van stofjassen, schoenen met stalen neuzen en veiligheidsbrillen is op de vloer verplicht. ‘Vooral die schoenen proberen studenten wel onderuit te komen, met het excuus dat ze toch niet met zware dingen bezig zijn. “Nee, maar je buurman wel”, zeggen wij dan,’ zegt Franken. Verder liggen er bij alle machines instructiekaartjes en surveilleren de medewerkers. Ook de arbodienst loopt regelmatig een rondje. ‘Voor hen is zo’n werkplaats reuze interessant,’ vertelt Van Eeden. ‘Wij weten inmiddels wel hoe het moet, dus als we aanbevelingen voor verbeteringen krijgen is het meestal op details. Maar er komt ook nieuwe apparatuur bij waar ze naar komen kijken.’ Daarbij draait het dan niet alleen om of het veilig is voor studenten. ‘We hadden laatst een nieuwe 3D-printer die met een plastic poeder

werkt. Dat spul stoft heel erg, dus dan willen wij ook graag weten of we het veilig kunnen inademen,’ vertelt Franken.

Veiligheidsinstructie

Studenten mogen alleen goed geïnstrueerd aan de slag. Alle eerstejaars krijgen een rondleiding en veiligheidsinstructie, waarna ze de lintzaag en de schuurschijf mogen gebruiken. De instructies voor de frees- en draibanken duren een halve dag. Dat is wel nodig ook. ‘Ze weten eigenlijk niet wat die gereedschappen zijn, alleen dat ze ze nodig hebben,’ zegt Franken. ‘In hun hoofd is het werkstuk vaak al klaar, alleen moet het nog gemaakt worden,’ vult Van Eeden aan. ‘Dan moet je helemaal terug naar het idee erachter. Moet het bijvoorbeeld nog ergens aan bevestigd worden, kunnen we dan lassen, of het mechanisch bevestigen; ga zo maar door.’

Voor ze met eigen werk komen, hebben studenten wel al kennisgemaakt met het practicum. ‘Er zitten maakopdrachten in het onderwijs. Dan moeten ze bijvoorbeeld een rotatie-symmetrische vorm voor een docent maken en komen ze voor de draaibank of de 3D-printer,’ zegt Franken. Dat zijn drukke tijden, vooral aan het eind van het semester. ‘Soms hebben we een week wachttijd voor de freesmachine.’ Gelukkig proberen de roosteraars wel mee te denken. ‘Ze proberen de inlevermomenten te verspringen, zodat



Draaibanken voor dummy's

De frees- en draaibanken zijn de echte werkpaarden van het PMB. Waar draaibanken gebruikt worden voor het maken van rotatie-symmetrische vormen – denk aan een cilinder of een tafelpoot – kunnen met een freesbank allerlei vormen en profielen in het materiaal gemaakt worden. Bij een draaibank staat het draaigereedschap stil, terwijl het materiaal ronddraait; bij een freesbank draait het gereedschap in plaats van het werkstuk. Het zijn allebei zogenaamde verspanende technieken, wat inhoudt dat de massa van werkstuk afneemt door het vrijkomen van splinters materiaal (de spanen). Dit bijvoorbeeld in tegenstelling tot een 3D-printer, of processen als lassen of gieten, waarbij de massa toeneemt, of technieken als snijden of knippen waarbij de massa afneemt zonder verspaning. Tegenwoordig zijn de meeste van deze werktuigmachines computergestuurd.

die niet voor alle vakken samenvallen. Dat helpt ons enorm,' zegt Van Eeden. Toch komt niet altijd iedereen aan de beurt, vooral niet als studenten zich te laat melden. 'Soms haken ze af, als ze door de wachttijd de deadline niet meer halen. Dan moeten ze het met de hand doen, of gaan ze naar een andere faculteit.' Vooral de werkplaatsen bij de faculteiten Bouwkunde (BK) en Werktuigbouwkunde, Maritieme Techniek en Materiaalkunde (3mE) zijn dan populair. Omgekeerd ziet het PMB ook wel studenten van andere faculteiten langskomen. 'Het liefst willen we iedereen helpen, maar we moeten wel onze prioriteiten stellen.'

Persoonlijk

Zes jaar geleden was er namelijk nog een grote gezamenlijke werkplaats, maar die is opgesplitst. Samen met vier collega's ondersteunen ze nu het praktijkonderwijs bij IO. Op de foto zie je van links naar rechts Don van Eeden, Carlo Buhrer Tavanier, Roland van der Velden, Roel Franken en Rene van de Schuur. Niet afgebeeld is Ismail Bozdogan die in het magazijn staat. Dat magazijn is ook een bijzondere faciliteit van de faculteit, volgens Van Eeden. 'Daar kan je nog een enkele moer of bout aanschaffen, of een klein plaatje materiaal. Net als vroeger bij de ijzerhandel.' Zelf ervaren

ze die kleinere, opgesplitste organisatie als een verbetering. 'Het is nu veel persoonlijker en minder massaal. Vroeger kwamen er nog wel eens groepen van veertig studenten binnen; nu kennen we ze allemaal bij naam.' Ook zien ze dat afstudeerders vaak naar een instructeur toetrekken. 'Voor hen is wel het prettig als ze wekenlang hetzelfde aanspreekpunt hebben. Echt nodig is het niet; we zijn allemaal allround hier.'

Behalve het voorrang geven aan studenten van de faculteit is er nog een reden om in de gaten te houden wie er in de werkplaats komt. 'Als er bij 3mE bijvoorbeeld een ontwerpwedstrijd is, dan krijgen ze maar een bepaald aantal uren toegang tot de werkplaats daar. Dus als wij ze dan extra tijd hier toestaan, is dat niet eerlijk ten opzichte van de rest,' zegt Franken. Dat raakt ook aan een andere kwestie waar ze dagelijks mee te maken krijgen: in hoeverre mag je studenten nu helpen, bijvoorbeeld bij een afstudeerontwerp? 'Het uitgangspunt is dat ze het zelf doen. Wij beoordelen dus in eerste instantie hoe een ontwerp in elkaar zit en wat de maakbaarheid is. Vervolgens kijken we wat de student al zelf kan. Dus als er veel draaiwerk inzit, moeten ze eerst een dagdeel instructie volgen voor de draaibank. Dat is de basis om veilig zelfstandig achter die machine te kunnen staan. Vervolgens groeit

‘Studenten zijn gewend dat ze een boek kunnen pakken en daar alles uit kunnen halen. Hier moeten ze vragen stellen over dingen die ze op geen enkele andere manier te weten kunnen komen’

zo’n student dan door dingen zelf uit te proberen of aan ons te vragen.’ Die maakbaarheid is belangrijk, maar tegelijk mogen ze ook weer niet te veel aan het ontwerp veranderen. ‘Dat is wel een valkuil. We moeten onze visie niet aan de student proberen op te leggen,’ zegt Van Eeden. ‘Het is ook niet erg als er eens iets misgaat, dat kan onderdeel zijn van het leerproces. Als het echt om afstudeerders gaat, probeer je ze wel eens een hint te geven. Zo van “heb je daar wel eens aan gedacht.”’ Wat ook een rol speelt, is het stadium waar het ontwerp zich in bevindt. Van Eeden legt uit: ‘Als we zien dat ze het ergens voor gaan gebruiken, dan is het wel belangrijk dat het goed gaat. Je geeft dus altijd veilige marges op waarbinnen ze kunnen werken. Je laat ze niet een stoel maken waar iemand doorheen kan zakken, of zoiets.’ Een belangrijk inzicht voor studenten is dat ze hun ontwerp niet als een geheel moeten zien. ‘Je kunt iets beter in delen doen en als die allemaal goed werken het geheel in elkaar zetten. Anders kun je vaak niet meer terug. Dus maak eerst een los binnenwerk en kijk wat er gebeurt voor je ergens een behuizing omheen bouwt.’

Maakwerk

Allemaal belangrijke lessen, die studenten alleen in de praktijk kunnen

leren en die ze vervolgens de rest van hun carrière kunnen toepassen. ‘Kijk, wat ze hier doen, is het echte maakwerk. Dat zullen de meesten later waarschijnlijk nooit meer doen. Als ze straks al hun eigen producten gaan maken, dan gebeurt dat meestal in een fabriek,’ stelt Franken. ‘Dus als ze nu in de werkplaats dingen niet zo handig aanpakken, is dat vervelend voor ze, maar die ervaring kunnen ze wel in de rest van hun professionele loopbaan meenemen. Hoe sneller ze hier tegen dingen in de praktijk aanlopen, hoe beter ze het oppakken.’ Van Eeden vult aan: ‘We zien dat het nodig is. Je moet voelen en ervaren wat je getekend hebt. Bij ons printen ze dan bijvoorbeeld een handvat, en dat blijkt dan wel erg dik te zijn. Je kunt niet alles van een computerscherm doen.’ In de loop der jaren hebben ze al heel wat projecten voorbij zien komen. ‘De fiets van Wytze is hier gemaakt,’ weet Franken. Dat was de Lady Duchess, de fiets die Wytze van Mansum in 2009 voor Cannondale ontwierp. ‘Die heeft in alle media gestaan. Hij zit nu ook in die fietsenwereld. De basis daarvoor was waarschijnlijk toch zijn afstudeerproject, al wordt dat zelf dan misschien niet in productie genomen.’ Ook de beroemde Ambulance Drone van afstudeerder Alec Momont kwam voorbij. ‘Daarvoor is de behuizing hier gefreesd op de

CNC-bank.’ Ook de DreamTeams, de studentenprojecten die hoge ogen gooien in internationale competities, weten het PMB te vinden. ‘Vooral de nieuwe teams, meestal. De gevestigde teams vinden hun eigen weg wel, daar zijn vaak ook bedrijven in geïnteresseerd die het leuk vinden om die teams te helpen. Maar als er een keer paniek is, komen ze nog steeds.’

Ieder jaar komen er ook deelnemers aan de HEMA Ontwerpwedstrijd, waar IO-studenten meestal goed presteren. ‘Die werken vaak met stof; we hebben ook twee naaimachines en een machine voor het vacuümvormen in kunststofplaten. Het is niet alleen maar grof verspanen en lassen,’ grapt Van Eeden. Ook de band met de onderzoekers is goed. ‘Ze hebben vaak testopstellingen waar wat aan veranderd moet worden, daar kunnen wij dan bij helpen,’ vertelt Franken. Van Eeden vult aan: ‘Omgekeerd kunnen we ook bij hen terecht als we ergens mee vastlopen en meetapparatuur nodig hebben.’ De mooiste momenten zijn wel als er iemand afstudeert. ‘Daar worden we altijd bij uitgenodigd en dan probeert een van ons er wel bij te zijn. ‘Ik heb bij jullie zoveel geleerd; dat had ik eerder moeten weten,’ zeggen ze vaak.’



Tweede kans voor thorium

Jan Leen Kloosterman is verbonden aan de afdeling Radiation Science and Technology bij het Reactor Instituut Delft van de faculteit Technische Natuurwetenschappen. In april 2015 werd hij benoemd tot hoogleraar Nuclear Reactor Physics. Zijn specialisme: gesmolten-zoutreactoren met thorium als brandstof. Een groot Europees onderzoeksproject wil de komende jaren aantonen dat zulke reactoren veilig zijn. 'Als we willen, kunnen we over tien jaar in Europa een demonstratiereactor bouwen,' aldus Kloosterman.

Professor Jan Leen Kloosterman doet al tien jaar onderzoek naar thorium-gedreven kerncentrales. Waarom thorium? 'In bestaande reactoren gebruiken we uranium-235, omdat het gemakkelijk te splijten is. Dat komt echter maar heel weinig voor in de natuur,' legt hij uit. 'Een alternatief zou het gebruik van uranium-238 kunnen zijn. Daar heb je dan wel een nieuw soort reactor voor nodig, waar internationaal ook hard aan gewerkt wordt. Maar bij het gebruik van uranium zul je altijd een vorm van langlevend kernafval blijven produceren. En dan heb ik het over een opslagtijd van tienduizend tot honderdduizend jaar,' aldus Kloosterman. Bij een thoriumreactor ligt dat anders. Weliswaar komen er zoals bij elke kernreactie splijtingsproducten vrij, maar het afval van thorium hoeft je maar enkele honderden jaren op te slaan. 'Na driehonderd jaar neemt de radiotoxiciteit enorm af. Dan is het in feite niet gevaarlijker dan uraniumerts dat in de bodem zit,' aldus Kloosterman.

Combinatievoordeel

Gebruik je thorium in gesmolten-zoutreactoren, dan zijn de voordelen

nog groter: 'In zo'n reactor zet je nog meer thorium om in uranium-233. Dat is een kunstmatige isotoop die heel goed splijtbaar is. Je kunt al dat uranium recyclen in de reactor, en je produceert daarbij bijna geen plutonium, slechts een duizendste tot een tienduizendste van wat er nu in een reactor geproduceerd wordt.' Bovendien is een gesmolten-zoutreactor veel veiliger. Het thorium zit opgelost in een vloeibaar zout, dat tegelijk als koelvloeistof dient. De kernreactie valt stil als er een lek optreedt of als de koeling wegvalt. De reactie vindt bovendien plaats bij atmosferische druk. Het was de samenloop van hoge druk met het wegvallen van de koeling die een ramp als in Fukushima veroorzaakte. 'Het is de combinatie van die twee technologieën die het zo bijzonder maakt, gebruik je alleen de een of de ander dan is het voordeel lang niet zo groot,' stelt Kloosterman. Dan heb je het over voordelen kernenergie die schoner en veiliger is, en dat uit een goedkope en ruim beschikbare bron. Er is namelijk zoveel thorium op aarde, dat we er duizenden jaren mee vooruit kunnen. Bij het winnen van titanium en zeldzame

aarden komt thorium vrij als mijnafval. 'Per jaar is dat alleen al zoveel dat we er 40 jaar lang mee in de wereldwijde behoefte aan elektriciteit zouden kunnen voorzien. Dat moeten we benutten.'

SAMOFAR

Zijn enthousiasme lijkt ook naar Europa te zijn overgeslagen. Namens de TU Delft is Kloosterman coördinator van project SAMOFAR, dat staat voor Safety Assessment of the Molten Salt Fast Reactor. SAMOFAR, met een totaalbudget van vijf miljoen euro, krijgt drie en een half miljoen euro subsidie uit het Europese onderzoeksprogramma Horizon 2020. Behalve de gesubsidieerde partners doen een Zwitsers en een Mexicaans onderzoeksinstituut zelfs op eigen kosten mee. 'Zij willen zich graag committeren aan de EU-regels; daar krijgen ze kennis voor terug,' zegt Kloosterman. 'Bijzonder is dat we binnen het project ook gaan samenwerken met China, Rusland en de VS. Daar lopen al grote projecten op het gebied van gesmolten-zoutreactoren en we willen de technologie gezamenlijk een stap verder brengen.'

Directeur Onderwijs

Professor Jan Leen Kloosterman is per 1 januari 2016 benoemd tot Directeur Onderwijs van de faculteit TNW. Hij was al zes jaar lang opleidingsdirecteur van de master Sustainable Energy Technology (SET). 'Driekwart van de studenten bij SET komt uit het buitenland, dat geeft een bijzondere sfeer. Ze zijn heel erg gedreven; ze hebben al een beurs of lening moeten krijgen om hier te komen. Bijna tien procent begint na de opleiding een eigen bedrijf en twintig tot vijfentwintig procent gaat promoveren.'

Kloosterman geeft onder meer een experimenteel college over probleem oplossen. 'Studenten begrijpen vaak de theorie goed, maar het oplossen van een vraagstuk is andere koek. Dat vereist het toepassen van kennis. In dat college leren we ze manieren om een probleem te benaderen. De essentie van een probleem achterhalen is dan het allerbelangrijkste. Dat kan door jezelf vragen stellen, maar ook door het probleem te visualiseren door een tekening te maken. Hoe eerder studenten dat beheersen, hoe meer ze hebben aan de rest van hun studietijd.'

'Er zal altijd behoefte zijn aan productievormen die je aan en uit kunt zetten. De gesmolten-zoutreactor kan heel goed pieken en dalen in de vraag opvangen'

De motivatie bij alle partners is hoog. 'Al vóór het indienen van het voorstel zijn we drie keer bij elkaar geweest. Iedere partner heeft zo een eigen, duidelijke rol en ook het doel van het project is scherp omschreven. Dat viel blijkbaar goed bij de evaluatiecommissie.' Dat doel is om aan te tonen dat het concept van de gesmolten zoutreactor met thorium ook echt zo veilig is als nu wordt aangenomen. 'We bedenken in feite waar het allemaal mis zou kunnen gaan, dingen waarvan mensen nu denken dat het wel goed zit. Daarvan willen we met experimenten overtuigend aantonen dat de veiligheidsmechanismen ook echt in de praktijk werken.'

Jaren zestig

Er is al een en ander bekend over de veiligheid van het proces. In de jaren zestig heeft er namelijk vijf jaar lang een demonstratiereactor gedraaid in de Verenigde Staten. 'Alle kennis van toen is nog aanwezig in rapporten en in de hoofden van sommige betrokkenen die nu nog leven. We hoeven dus niet alles opnieuw te doen,' vertelt Kloosterman. Wel is er bijvoorbeeld verder onderzoek nodig naar de materialen voor de installatie. Het destijds gebruikte reactorvat was gemaakt van Hastelloy-N, een speciale staallegering. 'We weten dat dit gedurende vijf jaar bestand is tegen het corrosieve fluoridezout. Maar we moeten natuurlijk reactoren voor vijftig jaar bouwen. Daarom willen we nieuwe materialen vinden of bewijzen dat de materialen van toen vijftig jaar meekunnen.' Dat onderzoek gaat in 2016 van start in de hogefluxreactor in Petten.

Daar worden capsules met fluoridezout in combinatie met verschillende constructiematerialen bestraald. 'De stralingsintensiteit is in Petten tien keer zo hoog als in een normale reactor. Dus als iets vijf jaar in de hogefluxreactor goed blijft, is dat een waardevolle indicator dat het vijftig jaar lang straling aankan.'

Ook de chemie van het zout wordt aan nader onderzoek onderwerpen. 'De samenstelling van het zout moet je goed monitoren, zodat ook hier geen corrosie plaatsvindt.' Ook in dit geval wordt uitgegaan van eventuele rampscenario's. In Fukushima kwamen bijvoorbeeld giftig jodium en cesium in de omgeving terecht. In de gesmolten-zoutreactor zitten splijttingsproducten als jodium en cesium met een sterke ionische binding aan het fluoridezout gebonden en zou dat eigenlijk niet kunnen gebeuren. 'We gaan de zoutoplossing met al die stoffen erin verhitten tot meer dan duizend graden en kijken welke stoffen wanneer vrijkomen. Dan weten we zeker dat bij de temperaturen in de reactor niets vrijkomt.' Deze experimenten worden uitgevoerd bij het Institute for Transuranium Elements in Karlsruhe.

Zoutplug

Een belangrijk veiligheidsmechanisme van de reactor is de zogenaamde zoutplug. Onder het reactorvat lopen buizen die zijn afgesloten met een prop gestold zout. Deze zoutplug wordt van buitenaf gekoeld. Kloosterman legt uit: 'Stel dat er een externe invloed is, zoals een tsunami of een black-out, waardoor de stroom uitvalt. Dan smelt de zoutplug en het vloeibare zout loopt weg naar

Thorium MSR Delft 2015

In april organiseerde TU Delft een groot congres over de gesmolten-zoutreactor, met sprekers uit Nederland, de VS, Canada en het VK. Ook waren opvallend veel start-ups aanwezig. 'Er zijn wel bedrijfjes die er brood in zien om een eigen reactor te ontwerpen,'

zegt Kloosterman. 'Die denken dan dat het sneller kan, dat je over tien jaar al een werkende reactor kunt hebben.' Zelf is hij wat voorzichtiger. 'Je moet eerst overtuigend bewijs leveren wil je de veiligheidsautoriteiten overtuigen. Ik denk dat daar nog wel een jaar of tien

onderzoek voor nodig is.' Het houdt het wel leuk, vindt hij. 'Jonge mensen met frisse ideeën; dat houdt de vaart erin. Ze hebben ook goede ideeën, die moet je benutten als onderzoeker.'

veilige opslagvaten onder het reactorvat.' Hetzelfde gebeurt als het reactorvat te warm wordt. Nader onderzoek aan de zoutplug gaat uitgevoerd worden door het Frans nationaal centrum voor wetenschappelijk onderzoek CNRS in Grenoble, ook een van de partners in SAMOFAR. 'Daar bouwen ze momenteel testopstellingen om het gedrag te onderzoeken van de zouten die in de warmtewisselaars stromen.'

Het feit dat de reactor met vloeibare stoffen werkt, biedt allerlei voordelen. 'Er zit aan zo'n reactor eigenlijk een kleine chemische fabriek, die continu de splijtingsproducten uit het zout haalt,' legt Kloosterman uit. 'Per dag wordt zo veertig liter zoutoplossing in een speciaal lab gereinigd en teruggebracht in de reactor.' Dat maakt de reactor mogelijk ook geschikt voor het versplijten van bestaand kernafval, iets waar wereldwijd belangstelling voor is. In een traditionele reactor met staven splijtstof betekent dat een omslachtig proces van ontmantelen, vervoeren en opwerken. Met een vloeistof kun je heel makkelijk stoffen toevoegen. We bekijken ook of je tijdens het bedrijf kunt wisselen van splijtstof. Dus of je een reactor die je hebt ingericht om afval te versplijten, kunt omschakelen tot thoriumreactor en omgekeerd.'

Als coördinator van het onderzoek reist Kloosterman stad en land af om voordrachten te geven, aan vakgenoten, maar ook aan geïnteresseerde leken. 'Dat vind ik heel belangrijk om te doen. Ik merk een groot enthousiasme bij het publiek. Na afloop krijg ik veel reacties van 'dit is echt iets heel nieuws, dit moeten we gaan doen.' Mensen beseffen

dat dit groot potentieel heeft. En dat die veiligheidsaspecten heel bijzonder zijn.' Kloosterman hoopt zo in de loop van het project voldoende momentum te genereren voor het opschalen naar een demonstratiereactor. 'In Europa lopen we wetenschappelijk ver voorop, maar de bestuurlijke wil om over grote investeringen te beslissen, ontbreekt vaak,' verzucht hij. 'De beslissing om te bouwen is nog ver weg. Je zou over tien jaar een demonstratiereactor kunnen realiseren en dan een productiereactor over twintig jaar. Maar dat besluit over opschalen moet je dan wel over een jaar of vijf nemen.' Volgens hem is nu ook de tijd om zulke beslissingen te nemen, omdat er toch grote investeringen in duurzame energievoorzieningen moeten komen. Daar past de gesmolten-zoutreactor goed in.

Enorme vraag

Toch zullen er altijd tegenstanders van elke vorm van kernenergie blijven. Hoe zou hij die willen overtuigen? 'Kijk, de energievraag blijft toenemen, net als de wereldbevolking. In het jaar 2100 zijn we met elf miljard mensen. Alleen al de bevolking van Afrika groeit van één naar vier miljard. In het Westen gebruiken we nu zestien keer zoveel energie per persoon als in Afrika. Zelfs als we daar flink op bezuinigen is dat nog zeker tien keer zoveel. Als straks vier miljard Afrikanen ook zoveel gaan gebruiken, is dat een enorme vraag,' legt Kloosterman uit. 'In potentie is er dan wel genoeg wind en zon, maar dat moet je efficiënt kunnen onttrekken en opslaan. Er zal altijd behoefte zijn aan productievormen die

je aan en uit kunt zetten. De gesmolten-zoutreactor kan heel goed pieken en dalen in de vraag opvangen.' Zelf heeft Kloosterman nooit getwijfeld. Hij was al jong geïnteresseerd in kernreacties en alles daaromheen. 'Natuurkunde studeren kon ook in Eindhoven of Leiden, maar ik ben naar Delft gekomen vanwege de onderzoeksreactor,' vertelt hij. Na zijn promotie in Delft werkte hij zes jaar aan het vernietigen van kernafval bij het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN). In 1998 kwam hij terug naar Delft om te werken aan nieuwe, innovatieve reactoren. 'Ik kwam op internet bij wat blogs terecht die deze technologie weer nieuw leven in wilden blazen. Zo zijn we begonnen met een clubje van een paar universiteiten en van daaruit is het steeds verder gegroeid.'

Daarmee treden ze in de voetsporen van Alvin Weinberg, de kernwetenschapper die tientallen jaren aan het hoofd stond van het Amerikaanse Oak Ridge National Laboratory (ORNL). Dat was het instituut waar tussen 1965 en 1970 de eerste gesmolten-zoutreactor draaide. 'Als die ontwikkeling destijds was doorgegaan, hadden we nu veel schonere en veiligere kernenergie. En minder controversie,' stelt Kloosterman. 'Wrang genoeg was het waarschijnlijk de behoefte aan plutonium die de schone thoriumreactor tijdens de Koude Oorlog de das omdeed. Dat heeft Weinberg altijd gespeten. In een interview in 1985 voorspelde hij dat die reactor er in de toekomst nog wel zou komen. Kloosterman: 'Ik denk dat hij gelijk gaat krijgen; ik doe in ieder geval mijn best.'

De campus als duurzame proeftuin

Duurzaamheid is een rode draad in het onderzoek van de TU Delft. Maar hoe zit het met duurzaamheid op de eigen campus? En hoe kun je het onderzoek verbinden met de praktijk op de universiteit? Daar weet Ir. Chris Hellinga alles van. Als coördinator duurzaamheid is hij de aanjager van projecten als het plaatsen van 10.000 m² aan zonnepanelen op de campusdaken. En daar blijft het niet bij.

Veel gebouwen van de TU Delft dateren nog uit de jaren zestig en zeventig en zijn niet erg energie-efficiënt. Daarom is de universiteit begonnen met een omvangrijke herontwikkeling van de campus. Hellinga maakte daarvoor een energieplan, samen met de afdeling Facilitair Management en Vastgoed (FMVG). 'We berekenden van alle renovaties en nieuwbouwprojecten die op stapel staan hoe die bijdragen aan de besparing van energie en de vermindering van CO₂-uitstoot. Verder bekeken we wat we nog meer konden doen zonder enorme investeringen. Dan kom je uit op zaken als de installatie van zonnepanelen en ledlampen.' Andere belangrijke elementen in het plan zijn de invoer van warmte-krachtkoppeling – het gelijktijdig opwekken van warmte en elektriciteit – en aardwarmte. Dat plan is behoorlijk ambitieus. 'Als je alles bij elkaar optelt, blijkt dat 50% CO₂-emissiereductie in 2020 haalbaar is en dat we 40% energie kunnen besparen. Verder kunnen we een kwart van onze energie duurzaam opwekken; daar speelt aardwarmte een belangrijke rol in,' legt Hellinga uit. Ook de zonnepanelen dragen eraan bij, maar dat is niet de enige opbrengst. 'We laten daarmee aan studenten en aan de hele samenleving

zien dat duurzaamheid ons na aan het hart ligt. Dat is een belangrijk signaal.' De daad bij het woord voegen dus, en daar is Hellinga goed in. De subsidie voor de zonnecellen vroeg hij al aan vóór het energieplan rond was. De TU Delft kreeg anderhalf miljoen euro. Dat lijkt veel, maar daarmee is de exploitatie van de zonnecellen waarschijnlijk net kostendekkend, denkt hij. 'Het is een lastige rekensom. Je krijgt subsidie op basis van wat je gaat produceren en dat gaat in ons geval om 1 miljoen kilowattuur per jaar. Alleen, omdat we grootafnemer zijn, betalen we toch al weinig voor onze elektriciteit. Daarom duurt het drie keer zo lang om uit de kosten te komen als bij een particulier.'

Delft Solar City

Het blijft trouwens niet bij die 1,2 megawatt aan vermogen. 'We willen extra dakoppervlak beschikbaar stellen voor medewerkers. Als je overweegt om zonnepanelen te kopen, kunnen die op de daken van de TU Delft gelegd worden. Dat is financieel minder aantrekkelijk dan op je eigen dak, maar niet iedereen kan die dingen zelf kwijt. Op de bank levert je geld momenteel niet veel op,' vertelt Hellinga. Hiervoor zocht hij contact met energiecoöperatie Qurrent, die ervaring

heeft met zulke formules. 'Dan kunnen we alle medewerkers hierin meenemen, zonder de administratieve rompslomp.' Inmiddels heeft het plan zich uitgebreid tot heel Delft, onder de naam Delft Solar City. Zonnepanelen op alle geschikte daken helpt mee om gemeente in 2050 energieneutraal te laten zijn. Die voortvarende aanpak viel op. Delft kwam vorig jaar uit het niets op de derde plaats terecht van de jaarlijkse verkiezing van steden die het best zijn in het gebruik en stimuleren van zonne-energie.

Aardwarmte

Met de invoer van aardwarmte liep het in eerste instantie minder vlot. Student Douglas Gilding was destijds de grote trekker van een plan om een eigen aardwarmtebron op de campus aan te leggen. 'Uit onderzoek naar de ondergrond bleek dat dat goed mogelijk was,' vertelt Hellinga. 'Het was de bedoeling om daar nieuwbouwhuizen mee te verwarmen; daar kun je dan meteen verwarmingsinstallaties inbouwen die geschikt zijn voor de relatief lage temperatuur van aardwarmte. Helaas was dat in de tijd van de malaise in de bouw en het nieuwbouwproject ging niet door. Daarmee was ook onze businesscase van de baan.' Wel kreeg



Over Chris Hellinga

Chris Hellinga kwam in 1985 naar de TU Delft na een studie levensmiddelen-technologie in Wageningen en drie jaar als procestechnoloog bij de Melkunie. In Delft werkte hij eerst aan de wiskundige kant van biotechnologische processen en later aan waterzuivering. 'Een van mijn publicaties toen ging over stikstofverwijdering. Dat was vijftien jaar geleden, maar ik krijg nog wekelijks mailtjes van een researchnetwerk dat het een van de best geciteerde publicaties uit die groep is.' Hellinga wilde echter niet grijs worden aan de universiteit en startte met een collega een bedrijf dat geavanceerd meetinstrumentarium ontwikkelde voor biotechnologische processen en begon later een milieuadviesbureau. Daar maakte hij veel levenscyclusanalyses (LCA) en zo werd zijn interesse voor energie gewekt. 'Energie en CO2-emissies zijn factoren die je goed kunt kwantificeren voor een LCA; andere dingen zijn veel lastiger.' In 2005 keerde hij terug naar de TU Delft en stond aan de wieg van nationale energie-initiatieven als het Nederlands Onderzoekspatform Duurzame Energievoorziening (NODE) en Advanced Dutch Energy Materials (ADEM). Binnen de TU Delft is hij nauw betrokken bij het Delft Energy Initiative en de bijbehorende Energy Club voor studenten.

Gilding in 2011 een scriptieprijs bij zijn afstuderen.

Het plan kreeg gelukkig een tweede kans. 'We zijn gaan bekijken hoe we die bron op de campus zelf konden inzetten. Daarmee laat je dan gelijk zien dat aardwarmte in bestaande gebouwen mogelijk is,' aldus Hellinga. Ook nu was het lastig om de begroting sluitend te krijgen. 'Een tuinder bijvoorbeeld neemt het hele jaar energie af. In de winter om te verwarmen en in de zomer om te ontvochtigen. Bij ons op de campus ligt het energieverbruik zomers een paar maanden praktisch stil.' Dat maakt het voor een bank minder aantrekkelijk om geld uit te lenen, maar na jaren rekenwerk lijkt er nu toch een oplossing te komen. Spannend is het nog wel: 'Eind 2016 weten we of de aardwarmtebron er ook echt gaat komen.'

De technische voorbereidingen zijn intussen al wel in volle gang. In het oude systeem wordt er namelijk verwarmd met water tot zo'n 130 graden Celsius. Daarvoor zijn fossiele brandstoffen nodig. Nieuwere, duurzame installaties kunnen verwarmen bij lagere temperatuur en zijn dus geschikt voor de aardwarmtebron, die water van 70 graden geeft.

Middentemperatuur heet dat. Bestaande installaties moeten daarvoor worden aangepast. Hellinga: 'Op dit moment zijn de gebouwen nog gewend aan veel warmer water. Bij lopende renovaties doen we al aanpassingen om die lagere temperaturen mogelijk te maken.'

Misschien valt het echter wel mee met die benodigde aanpassingen. Althans volgens de laatste berekeningen uit het rekenmodel waarin alle leidingen en gebouwen op de campus verwerkt zijn. Daarin wordt aan de hand van de

voorspelde temperatuur de warmtevraag per gebouw berekend en vervolgens welke bronnen dat kunnen gaan leveren. 'Het model voorspelt dat je met geringe aanpassingen in de gebouwen de temperatuur al kunt verlagen. We willen nu in een gebouw testen of dat geen comfortverlies met zich meebrengt, dus dat we het niet te koud krijgen. De modelvoorspelling moet wel kloppen met de realiteit.'

Gelijkstroom

Het liefst wil je natuurlijk een duurzaam gebouw van nul af ontwerpen. Die kans kwam met het nieuwe onderwijsgebouw Pulse dat in 2017 op de campus moet verrijzen. 'We hebben de lat heel hoog gelegd,' zegt Hellinga. Het gebouw moet onder meer energieneutraal zijn, dus in de zomer moet er zoveel energie worden opgewekt dat het ook in de winter in zijn eigen energie kan voorzien.' Op initiatief van Hellinga wordt er ook gekeken naar het gebruik van gelijkstroom. Daarmee zou Pulse het eerste kantoorgebouw in Nederland zijn met een gelijkstroomnet. Hij legt uit: 'Uit al die duurzame bronnen als zonnepanelen en windmolens komt nu gelijkstroom, die wordt omgezet naar wisselstroom. Batterijen en brandstofcellen werken ook met gelijkstroom, net als al onze apparaten. Alleen uit het stopcontact komt wisselstroom. Daarom zitten nu overal apparaatjes tussen om dat weer om te zetten naar gelijkstroom.' Dat is historisch zo gegroeid, maar hier is duidelijk winst te behalen. Elke omzetting levert immers energieverlies op. 'Gelijkstroom betekent minder energie, minder materialen voor al die omvormers, minder ruimte omdat je minder apparatuur nodig hebt en minder

‘We hebben de lat heel hoog gelegd. Het gebouw moet onder meer energieneutraal zijn, dus in de zomer moet er zoveel energie worden opgewekt dat het ook in de winter in zijn eigen energie kan voorzien’

warmteverlies. Sommige datacentra werken al helemaal op gelijkstroom.’

Green Village en Office

Bij al deze onderwerpen zijn onderzoek, ontwerp en de praktijk op de campus nauw verweven. Zo zal een deel van de zonnepanelen gebruikt gaan worden voor onderzoek naar het verbeteren van de efficiëntie. Professor Andy van den Dobbelsteen, hoogleraar Climate Design & Sustainability, was betrokken bij het ontwerp van het nieuwe onderwijsgebouw, evenals zijn collega Erwin Mlecnik, die gespecialiseerd is in passiefhuizen. Ook wordt er druk gewerkt aan het Green Village, het levende duurzaamheidslab dat op de campus moet komen. Daar gaan studenten, onderzoekers, ondernemers en overheden samen werken aan radicaal vernieuwende, duurzame technologie. Bijvoorbeeld aan een waterstofauto die elektriciteit kan leveren aan woningen, het ‘Car as Power Plant’-project. Om te zorgen dat alle initiatieven niet langs elkaar heen werken,

komt er een speciaal Green Office. ‘Dat moet het loket van de TU Delft worden als het om duurzaamheid gaat,’ zegt Hellinga. Met 900 onderzoekers die aan energieonderwerpen werken bij de TU Delft is het niet zo gek dat daar veel aandacht voor is. Maar er is meer. Als eerste klus op de agenda van het Green Office staat het maken van een duurzaamheidsplan voor de komende tien jaar. ‘Daarmee laten we ook zien dat we er als universiteit heel bewust op inzetten, ook op onze eigen campus.’

Biomassa

Een haalbaarheidsstudie om een biomassavergasser bij de warmtekrachtcentrale te gaan plaatsen is een ander voorbeeld van interactie tussen het onderzoek en de campusontwikkeling. Hellinga werd recent benaderd door het pijpleidingenbedrijf A. Hak, dat hierin een nieuwe markt ziet. Samen met het groene technologiebedrijf Torrgas werken ze aan een proefinstallatie om biomassa te vergassen. In zo’n

installatie wordt voorbereide biomassa verwerkt tot een gas dat als groene brandstof kan dienen voor verwarming en elektriciteitsopwekking, met als bijproduct een groene grondstof voor de industrie. ‘Er liep al onderzoek bij de faculteit 3mE of je voor de biomassagrondstof ook echte afvalstromen kunt gebruiken, denk aan gemaaid gras of gft-afval. Deze twee ontwikkelingen sluiten prachtig op elkaar aan.’

Leuk detail: de oude steenkooltanks op het dak van de warmtekrachtcentrale zijn ideaal voor de opslag van biomassa. Hellinga is enthousiast: ‘We zijn de universiteit bij uitstek om onderzoek te doen naar meerwaarde voor dat apparaat. Zo kunnen onze chemici bijvoorbeeld uitzoeken hoe je effectief langere moleculen uit het CO en H₂ in biogas kunt maken. Als we meer van dit soort projecten kunnen aanjagen, voegen we echt iets toe aan de energietransitie.’

Innovatieprogramma Intelligente Netten (IPIN)

Het warmtemodel van de campus is gemaakt binnen het Innovatieprogramma Intelligente Netten (IPIN), waarmee NWO de invoer van intelligente netwerken in Nederland wil versnellen. De TU Delft is een van de elf proeftuinen binnen IPIN. Chris Hellinga: ‘Bij intelligente netwerken denkt iedereen gelijk aan elektriciteit, maar een ‘smart grid’ is voor warmte

net zo belangrijk. We krijgen straks warmte uit verschillende bronnen en van verschillende temperaturen. Je moet het kunnen bufferen en flexibel inzetten als er vraag naar is. Precies de vragen die bij duurzame energie spelen.’ Het warmtenet op de campus wordt nu nog gevoed door de warmtekrachtcentrale; ook zijn er een paar gebouwen met een

zelfstandig warmte-koudeopslagsysteem. Met de komst van nieuwe bronnen als zonne- en aardwarmte wordt het tijd om van het warmtenet een slim netwerk te maken. Hiervoor werkt TU Delft samen met water- en bodeminstituut Deltares, adviesbureau Deerns, installatiebedrijf Kuijpers en Priva, dat gespecialiseerd is in klimaatregeling.



Investeren in mensen, niet in stenen

Professor Maarten van Ham is hoogleraar Stedelijke Vernieuwing en Wonen aan de faculteit Bouwkunde. In 2014 ontving hij een ERC Consolidator Grant voor zijn onderzoek naar buurteffecten, DEPRIVEDHOODS. De eerste bevindingen van dit internationale onderzoek zijn onlangs gepubliceerd in het boek 'Socio-Economic Segregation in European Capital Cities'.

In de jaren negentig en in het begin van het millennium werd er in ons land fors geïnvesteerd in sloop en nieuwbouw in achterstandswijken. Met een meer gemengd aanbod van duurdere koop- en huurwoningen en sociale woningbouw zouden problemen als werkloosheid, schooluitval en criminaliteit sterk moeten afnemen, was het idee. Overheden hechten veel belang aan het fenomeen buurteffecten. Daarmee bedoelen ze dan het causale effect van het wonen in een arme wijk op individuele uitkomsten als gezondheid, kans op werk en de opleiding van je kinderen. Allerlei mechanismen zouden daarin een rol spelen. In een wijk met veel armoede en werkloosheid zouden mensen bijvoorbeeld geen goede rolmodellen hebben, en zou er een cultuur kunnen ontstaan waarin je juist trots bent op het hebben van een uitkering.

Hoe belangrijk zijn die effecten nu precies, vroeg ik me af, want in de literatuur zijn daarvoor weinig harde bewijzen te vinden. Er is natuurlijk een verband tussen je inkomen en waar je woont. Verdien je weinig dan kom je terecht op die plekken in de stad waar het goedkoop wonen is. En onze steden zijn vaak zo georganiseerd dat die woningen geclusterd zijn in bepaalde wijken. Denk bijvoorbeeld aan de jarenzestigwijken

met veel hoogbouw. Daar concentreert armoede zich vaak. Ik denk dat er wel negatieve effecten zijn van het wonen in een arme buurt. Het kan elkaar versterken. Maar ga je kijken wat die armoede in de eerste plaats veroorzaakt, dan blijkt dat toch vooral te gaan om zaken als gebrek aan opleiding om aan een betere baan te komen, zodat je kunt verhuizen. Die individuele kenmerken spelen een veel grotere rol dan de buurteffecten.

Praat je over oplossingen voor probleemwijken, dan is dat heel belangrijk. Je kunt investeren in gebieden of juist in mensen. In Nederland hebben 'area-based policies' – dus het investeren in de gebouwde omgeving – de afgelopen twintig jaar erg de overhand gehad over 'people-based policies'. De oorspronkelijke bewoners van arme buurten zouden gebaat zijn bij het sociaal-economisch mengen van hun buurt door goedkopere woningen te vervangen door duurdere. Dat blijkt in de praktijk niet te werken. Bij sloop en herbouw komen er deels andere mensen in de buurt wonen. Tien jaar later hebben er inderdaad meer mensen een baan of auto. Maar dat zijn vaak mensen van buitenaf die de nieuw gebouwde koopwoningen gekocht hebben; je hebt dus niks gedaan voor de oorspronkelijke

bewoners. Die hebben zich verspreid over de rest van de stad, zonder dat er aan het onderliggende armoedeprobleem iets is veranderd.

Om draagvlak te creëren voor de sloop van oude buurten kregen bewoners ook wel terugkeergaranties en konden ze met huurkorting een van de nieuwe woningen betrekken. Tien jaar later zijn die mensen dan veel tevredener over hun woonomgeving, maar je ziet bij hen geen verbetering qua inkomen of werk. Neem de deelgemeente Hoogvliet in Rotterdam, waar meer dan een miljard euro in is geïnvesteerd. Had je de helft daarvan besteed aan het beter belonen van de beste leerkrachten en het halveren van de klassen, dan had je over tien jaar enorme resultaten gezien voor die kinderen. Maar dat is wel een langetermijnstrategie waar politici vaak geen geduld voor hebben.

Hoe onderzoek je die buurteffecten nu precies? Idealiter neem je duizend willekeurige mensen in een rijke buurt en duizend mensen in een arme buurt, zet je er een stolp overheen en kijk je na 10 jaar naar de effecten. Dat gaat natuurlijk niet. Wel kun je data verzamelen door mensen over een langere periode te volgen. Je kunt ze interviewen en retrospectieve vragen stellen, maar wie weet er nou nog

Over Maarten van Ham

Prof. Dr. Maarten van Ham studeerde Economische Geografie aan de Universiteit Utrecht en promoveerde daar in 2002. Hij werkte als onderzoeker bij het Max Planck Instituut in Berlijn, bij de Universiteit Utrecht en de Universiteit van Amsterdam. In 2006 werd hij Lecturer bij de Universiteit van St. Andrews in Schotland. In 2011 werd daar hij op 39-jarige leeftijd benoemd tot hoogleraar, waar hij nog een kleine aanstelling heeft. In datzelfde jaar benoemde de TU Delft hem tot hoogleraar Stedelijke Vernieuwing en Wonen.

precies wat hij 10 jaar geleden verdiende of wat zijn postcode was? Daar zitten dus veel fouten in. Je kunt mensen ook ieder jaar een vragenlijst sturen, maar dat is weer vreselijk kostbaar en er zullen er veel afvallen in de loop der tijd.

Wij maken voor ons onderzoek gebruik van registerdata. Wat dat betreft zijn we in Nederland een gelukkig land. Bijna overal ter wereld heb je alleen volkstellingen, dan weet je maar eens in de tien jaar iets. In Nederland hebben we sinds de jaren negentig de Gemeentelijke Basisadministratie. Het Centraal Bureau voor de Statistiek verzamelt al die gegevens en koppelt die weer aan informatie over huishoudens, werk, woningbezit, noem maar op. Daarmee kunnen we mensen in de tijd volgen en kijken wat de effecten zijn van het wonen in een bepaalde omgeving op de individuele uitkomsten. Uiteraard is ons onderzoek omgeven door allerlei regels, zodat de privacy gewaarborgd is.

Sociologisch en ruimtelijk onderzoek met behulp van grote databestanden, dat is dus wat we doen. De complexiteit en de omvang van die data maken het zo interessant. En de hoge ruimtelijke resolutie. In onze modellen is Nederland verdeeld in vierkantjes van 100 bij 100 meter. Dat zijn vier miljoen vierkantjes. We weten zo'n 100 kenmerken per vierkantje, zoals werkloosheid en bevolkingssamenstelling. Al die data koppelen we aan die twintig miljoen mensen die in het GBA zitten, dan heb je het over honderden miljoenen gegevens. Behalve per vierkantje, kunnen we ook kijken naar de vierkantjes eromheen en die daaromheen, dus op verschillende schaalniveaus.

Hoe veranderen buurten over langere perioden en wat zijn de geschiedenissen van de bewoners? En hebben die geschiedenissen dan invloed op de

uitkomsten van mensen? Kijk je waar iemand de afgelopen tien, vijftien jaar heeft gewoond, dan zie je bijvoorbeeld jongeren uit gegoede buurten die een paar jaar in een slechtere buurt wonen tijdens hun studie, dan hun eerste baan krijgen en weer opklimmen. Je ziet ook jongeren in achterstandsbuurt opgroeien die daar nooit uit wegkomen. Als je dan als uitkomst vindt dat het tien jaar wonen in een armoede-concentratiewijk een negatiever effect heeft op je inkomen dan het twee jaar wonen in zo'n wijk, dan kom je in de richting van een causaal verband.

De waarde zit hem in het onderzoeken van die patronen. Dat is fundamenteel onderzoek. Je kunt die uitkomsten vervolgens weer meer diepgang geven door ze te koppelen aan gegevens uit andere onderzoeken. Het CBS doet bijvoorbeeld ieder jaar onderzoek naar de beroepsbevolking en naar de woningmarkt. Daarvoor worden dan 100.000 mensen geïnterviewd en die krijgen vragen als: bent u gelukkig, hebt u last van werkstress, hebt u wel eens contact met uw bureaus, lekt uw woning? Dat is allemaal informatie die niet standaard in de database zit. Dus op gezette tijden weten we nog veel meer. Op die manier kijken we bijvoorbeeld naar de relatie tussen persoonlijkheid en buurteffecten. Het idee is dat je persoonlijkheid beïnvloedt of je last hebt van het wonen in een achterstandswijk met veel problemen als armoede en criminaliteit. Ben je heel resiliënt – veerkrachtig – dan zou je daar geen moeite mee hebben. Dat onderzoeken wij met behulp van een survey waarmee jongeren de afgelopen vijftien jaar zijn gevolgd, die we koppelen aan de registerdata. Zo kun je ineens vijftien jaar terugkijken in de tijd.

Alleen in Zweden hebben we eigenlijk dezelfde datarijksdom als in Nederland.

‘Segregatie wordt pas een probleem als het wonen in een bepaalde wijk negatieve gevolgen gaat hebben voor individuele huishoudens’

Voor ons Europese onderzoek gebruiken we daarom volkstellingsdata. Daarmee vergeleken we op buurtniveau waar arm en rijk woonden in dertien hoofdsteden in Europa in 2001 en 2011. In elf van de dertien bleek de segregatie tussen arm en rijk te zijn toegenomen. Die toenemende segregatie is een gevolg van de toenemende ongelijkheid die mede wordt veroorzaakt door globalisering. De ‘maakindustrie’ in Europa is sterk gekrompen. Daardoor verdwijnen de middenklasse-banen en komen er alleen aan de onderkant en de bovenkant van de arbeidsmarkt banen bij.

In drie steden nam de segregatie zelfs heel erg toe, in Wenen, Stockholm en in Tallinn in Estland. Dat zijn heel verschillende steden, maar ze vertonen wel dezelfde trends. In Tallinn zie je de extreme uitwassen van het kapitalisme. Daar is de ongelijkheid sterk toegenomen na de val van de Muur en dat vertaalt zich nu in enorme segregatie. Wenen en Stockholm zijn van oudsher steden met heel veel nadruk op inkomensherverdeling en sociale huur. Daar zie je een afname aan investeringen in de sociale woningbouw. Sinds de

jaren tachtig heeft de neoliberale politiek geleid tot toegenomen privatisering en het afbouwen van sociale voorzieningen als sociale huur. Dat veroorzaakt allemaal meer ongelijkheid en dat zie je terug in de ruimtelijke verdeling van die ongelijkheid. Vooral Stockholm was heel toegankelijk voor immigranten. Daar zijn nu juist in 2013 rellen geweest in de wijken waar veel immigranten wonen die geen perspectief hebben. Daar kun je een les voor de rest van Europa uit trekken. Zorg dat immigranten een opleiding en werk krijgen en dat hun kinderen naar school gaan.

De ontvangst van ons boek hierover was overweldigend. Het begon met heel veel aandacht in de Nederlandse media. Inmiddels hebben we al meer dan vijftig publicaties gehad in Europese media, zoals El Pais en The Guardian, maar ook de Washington Post. We hebben het boek gepresenteerd in Brussel bij de Europese Commissie en bij de OESO, de organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling. Ik krijg politici op bezoek en word straks weer geïnterviewd voor de Weense radio. Het is maar een boek, denk ik wel eens.

Toch verrast het me niet. Dat thema van ongelijkheid raakt iedereen. **Segregatie** is niet per definitie slecht. De meeste Nederlanders wonen in wijken met mensen die heel erg homogeen zijn qua inkomen, opleiding, gezinssamenstelling enzovoort en zijn daar volstrekt gelukkig. Nederland is nog steeds een zeer gelijk land in vergelijking met de rest van Europa. Segregatie wordt pas een probleem als het wonen in een bepaalde wijk negatieve gevolgen gaat hebben voor individuele huishoudens. Dat bedrijven niet meer willen investeren, dat winkels sluiten of dat kinderen niet het onderwijs krijgen dat ze verdienen. Dat het mensen uitsluit van diensten en mogelijkheden in het leven. Op sommige plekken is dat zo. Ik geloof niet dat het investeren in stenen een oplossing is, maar het investeren in mensen. Als je kijkt naar de buitenwijken in Parijs, daar hebben ze de afgelopen jaren 44 miljard in geïnvesteerd. Het was laatst tien jaar geleden dat daar hevige rellen uitbraken in 2005. Journalist Peter Giesen schreef naar aanleiding daarvan een artikel in de Volkskrant. ‘Met de stenen gaat het goed, met de mensen een stuk minder,’ was zijn conclusie. Dat is precies mijn verhaal.’

DEPRIVEDHOODS

Professor Maarten van Ham kreeg in 2014 een ERC-beurs toegekend voor zijn onderzoek naar de relatie tussen sociaaleconomische ongelijkheid, armoede en wijken. In totaal tien onderzoekers in vier landen (Nederland, het VK, Zweden en Estland) zullen hieraan de komende jaren werken. ‘Die subsidie veranderde veel, want daarmee kon ik mijn onderzoeksgroep flink uitbreiden. Ook het toegang krijgen

tot de benodigde longitudinale datasets in Nederland en andere landen kost veel geld,’ vertelt Van Ham. In oktober 2015 genereerde het boek ‘Socio-Economic: Segregation in European Capital Cities’ veel media-aandacht voor het onderzoek van Van Ham en zijn collega’s. Nu de rust wat is weergekeerd, wijden zij zich verder aan de essentie van het onderzoek: het fundamenteel verbeteren van het begrip van buurteffecten. ‘We kijken nu naast

segregatie in woonbuurten ook naar segregatie op het werk en in de vrije tijd. Segregatie heeft veel meer dimensies dan vaak worden meegenomen in onderzoek. Met onze nieuwe aanpak begrijpen we straks veel meer van de invloed van segregatie op het leven van mensen.’

Dansende rollator zorgt voor ouderen

Iets meer dan een jaar geleden begon dr. Maja Rudinac met haar bedrijf, Robot Care Systems. Sindsdien is er veel gebeurd. In 2015 won ze de prestigieuze Herman Wijffels Innovatieprijs in de categorie Vitale Gemeenschappen en Zorg. Op 3 december won ze ook nog eens de Shell LiveWIRE Award. En wat het belangrijkste is: haar ingenieuze zorgrobots worden nu getest door groepen patiënten, waarna ze op de markt gebracht gaan worden.

Het gebouw dat Robot Care Systems deelt met partnerbedrijf Lobeco is een beetje weggestopt in een stille straat in het chique deel van Den Haag. Maar eenmaal binnen ziet het er precies uit zoals je zou verwachten van een technostarter: veel jonge mensen aan de slag in de labs, een testruimte waar robotsystemen mogen laten zien wat ze kunnen en een ontspanningsruimte in het souterrain. Daar is het laat op deze vrijdagmiddag vrijwel uitgestorven, aangezien de meeste van de veertig werknemers nog hard aan het werk zijn. Maja Rudinac is duidelijk een CEO die van aanpakken houdt.

'Ik heb in Belgrado, in Servië, elektro- en regeltechniek gestudeerd en een master Kunstmatige Intelligentie gedaan,' vertelt Rudinac. Tijdens haar masteropleiding raakte ze betrokken bij een groot Europees onderzoeksproject in samenwerking met Google op het gebied van 'video retrieval'. 'Daardoor zijn er heel wat deuren voor mij opengegaan en ontdekte ik hoe mooi onderzoek kan zijn.' Na haar afstuderen bleef ze betrokken bij het project. Diezelfde periode werkte ze ook aan signaalverwerking voor de analyse van ecg's. 'Daardoor heb ik wat

medisch inzicht gekregen en leerde ik patiënten kennen die aan het herstellen waren van een hartaanval. Ik vond het leuk om in de praktijk met mensen en apparatuur aan de slag te gaan. Data-retrieval was me een beetje te passief.'

Lerende robots

Ze kreeg de kans om iets nieuws te gaan doen toen professor Pieter Jonker haar uitnodigde een promotieproject aan de TU Delft over beeldgebaseerde systemen. Ze was daar nog maar net aan begonnen toen Jonkers onderzoeksgroep onderdeel werd van het Delft Biorobotics Lab, dat op de biologie geïnspireerde robots ontwikkelt. 'Ze bouwden daar fantastische lopende robots, met zeer complexe mechanische systemen. Dat zette me aan het denken – waarom zou ik geen robots bouwen om onze beeldsystemen te testen? Zo ben ik in de robotica beland.' Ze richtte zich met name op de manier waarop robots iets kunnen leren. 'Ik heb geprobeerd te analyseren hoe kleine kinderen van hun omgeving leren en dat na te bootsen met robotsystemen. Hoe kan een robot voorwerpen, menselijke handelingen of gezichten herkennen? En hoe kan hij in

een onbekende situatie eerdere kennis toepassen?' aldus Rudinac.

'Hoe zorg je ervoor dat hij zijn omgeving begrijpt, daarvan leert et cetera?' vervolgt ze. Een van de grootste uitdagingen binnen de robotica is het maken van robots die zich kunnen aanpassen aan nieuwe omgevingen en gebruikers. Dat is één reden waarom robots tot nu toe voornamelijk worden gebruikt in gereguleerde omgevingen, zoals een fabrieksvloer of operatiekamer, of omgevingen die voor mensen nauwelijks toegankelijk zijn, zoals de diepzee en de ruimte. De tweede reden is financieel. 'We hadden nog geen huishoudelijke robots omdat robots veel te duur waren. De robots die werden ontworpen waren te complex.'

Autonome vermogens

Rudinac besloot van tactiek te veranderen. 'Ik dacht bij mezelf: Waarom draai ik het probleem niet om en analyseer ik hoe mensen thuis leven? Dan kan ik daarvan afleiden hoe robots daarbij kunnen helpen.' Ze verzamelde een groep enthousiaste studenten om zich heen om dat idee te testen. 'Zo hebben we Robby en Leah bedacht: robots die



Binnenkort komt zusterbedrijf Robot Security Systems met een nieuw product op de markt: SAM (Secure Autonomous Mobile). 'Onze partner Lobeco heeft jarenlange ervaring in de veiligheidssector en zag mogelijkheden voor robottechnologie,' vertelt Maja Rudinac. 'Neem nu een grote fabriekshal. 's Avonds is daar meestal maar één bewaker aanwezig. En vaak bevat zo'n ruimte gevaarlijke stoffen, er kan brand uitbreken of er kan iemand inbreken. SAM kan dergelijke ruimtes inspecteren en indien nodig de bewaking alarmeren. En als er een incident plaatsvindt, kan SAM controleren of een ruimte veilig is voor mensen.' SAM heeft een grote broer genaamd SAM Outdoor, die dezelfde taken buiten kan verrichten.

'Wij willen een verandering teweegbrengen. Wie kan die mensen helpen die het alleen niet redden, nu er steeds minder verzorgingstehuizen zijn? Wij willen mensen in nood met deze technologie van dienst zijn'

allerlei complexe taken kunnen uitvoeren met een eenvoudig 'lichaam'. Je kon ze met je stem besturen. Als je zei: "Leah, ga naar de keuken en vraag wat oma wil drinken", dan deed ze dat.' De robots hadden geavanceerde autonome vermogens nodig om te kunnen navigeren en om spraak, voorwerpen en gezichten te herkennen. Ook zagen Robby en Leah er een beetje uit als een mens. 'Ik wilde dat ze vriendelijk overkwamen, maar nog wel als robot te herkennen waren.' De vriendelijk ogende Robby en Leah kregen veel aandacht in de pers, maar het waren slechts prototypes. Rudinac wilde technologie ontwerpen die mensen daadwerkelijk zouden gebruiken. 'Aan een universiteit gaat dat niet gebeuren, daar moet je een onderneming voor opstarten,' zegt ze. 'Daarom heb ik met mijn team aan de TU Delft besproken of we een bedrijf konden opstarten om robots te bouwen die mensen daadwerkelijk in huis zouden nemen.'

In de loop van een ander onderzoeksproject maakte Rudinac kennis met patiënten in verzorgingstehuizen. 'Destijds deed ik ook onderzoek naar een systeem dat detecteert wanneer iemand valt, en dat testten we in bejaardentehuizen. Ik heb daar veel met die mensen gesproken. Ze waren zo blij dat er iemand op bezoek kwam, het maakte niet uit dat ik gebrekkig Nederlands sprak. Sterker nog, daar hebben ze me mee geholpen.' Die

bezoekjes gaven stof tot nadenken. 'Ik voelde me verdrietig na zo'n bezoek. Je ziet mensen die hun hele leven actief zijn geweest, en nu ze oud zijn krijgen ze maar weinig hulp. Als we ze aan het bewegen zouden krijgen, zou dat hun leven enorm verrijken.' Na enig marktonderzoek kwam Rudinac tot de conclusie dat daarvoor vrijwel geen technologie beschikbaar was. Daar besloot ze verandering in te brengen.

SILVER

Haar ideeën sloten exact aan op het Europese project SILVER (Supporting Independent Living for the Elderly through Robotics), dat erop is gericht om nieuwe technologie te ontwikkelen om ouderen bij het dagelijks leven te assisteren. Ze vroeg een SILVER-beurs aan om een haalbaarheidsonderzoek te doen, die ze kreeg. 'Toen zeiden we: 'Laten we het maar proberen'. En na een jaar vol gesprekken met ouderen en verzorgers hebben we een product bedacht waar beide groepen wat aan hebben.' Vervolgens richtte ze Robot Care Systems op, samen met Lobeco Fire + Security en ondernemer Martin Roos. Hun product heet opnieuw LEA, een afkorting van Lean Elderly Assistant. 'We waren gehecht geraakt aan die naam,' geeft Rudinac toe.

In tegenstelling tot haar voorgangster lijkt LEA helemaal niet op een mens. Ze lijkt eerder op een rollator – maar dan wel een rollator die van alles kan. LEA

'We hebben nog steeds een hechte band met de TU Delft,' aldus Maja Rudinac. 'Bijna ons hele team heeft aan de TU Delft gestudeerd of gewerkt. Ik denk zelfs dat wij de grootste werkgever zijn voor afgestudeerden van het Robotics Institute. Dat levert wederzijds voordeel op. Omdat ik weet wat voor opleiding ze

hebben gehad en dat ze gedegen kennis van de robotica hebben, hoef ik me bij het werven van mensen geen zorgen te maken.'

De TU Delft en Robot Care Systems werken ook samen aan WEpods, een project gericht op autonome voertuigen. 'Volgend jaar gaat er een autonoom

pendelbusje rijden tussen het station en Wageningen University. We zijn momenteel bezig met de eerste tests en zijn met de RDW in gesprek om toestemming te krijgen voor de openbare weg. Daar zijn heel wat certificeringen en beveiligingsmaatregelen voor nodig, maar daar helpen ze ons bij.'

kan drie groepen mensen ondersteunen: mensen met mobiliteitsproblemen, demente patiënten en tremorpatiënten.

'De gebruiker draagt een knop bij zich. Eén druk en LEA komt naar de gebruiker toe en positioneert zich zodanig dat die kan opstaan.' LEA detecteert ook hoe snel mensen lopen om ze te kunnen assisteren. Daarnaast is de robot voorzien van sensoren die obstakels detecteren, zodat die ontweken kunnen worden. 'We wilden af van een traditionele interface, voor een zo intuïtief mogelijke bediening.' LEA heeft zelfs een ingebouwde module voor lichaamsbeweging. 'Beweging is essentieel om mobiel te blijven. Daarom werken we samen met een gekwalificeerde rollator-dansleraar. LEA kan inmiddels de wals en de samba dansen. Daarnaast kan LEA worden gebruikt voor revalidatie-oefeningen die we in samenwerking met deskundigen hebben ontwikkeld.'

De module voor persoonlijke assistentie is bedoeld voor patiënten met dementie. Voor hen is het belangrijk om zich aan de dagelijkse routine te houden en om er bijvoorbeeld aan te worden herinnerd dat ze hun medicijnen moeten innemen. 'LEA waarschuwt je niet alleen, maar haalt je zelfs op om je te brengen waar je moet zijn. Samen met verzorgers die zijn gespecialiseerd in dementie werken we verder aan deze module.' De robot heeft ook een communicatiemodule, waarmee mensen hun familieleden en verzorgers kunnen waarschuwen. 'Daarbij hoort ook

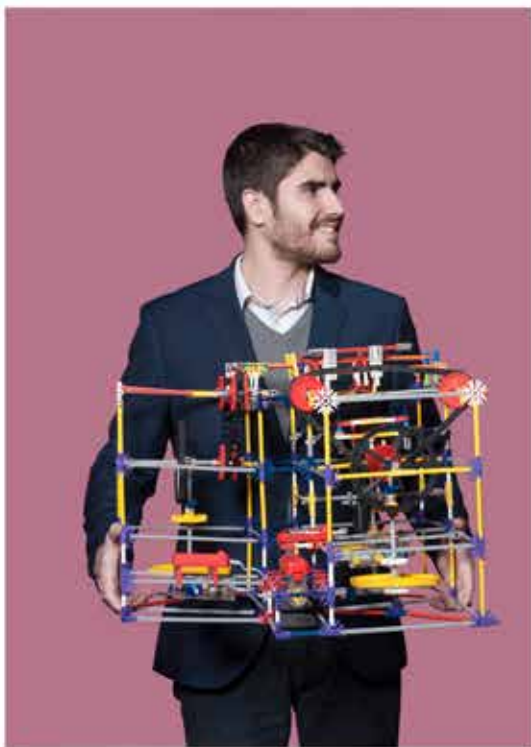
een module voor zorg op afstand. Als LEA detecteert dat iemand is gevallen, kan ze contact maken met de alarmcentrale en om hulp vragen als dat nodig is.'

Consumentenelektronica

Het klinkt alsof LEA een duur apparaat moet zijn, maar dat is niet zo. 'Als mensen een robot ontwikkelen, voorzien ze die meestal van dure laserscanners en dergelijke. Wij gebruiken goedkope consumentenelektronica, waardoor het overigens wel een uitdaging is om de algoritmes te ontwikkelen. En om de prijs laag te houden hebben we zelf meer dan zeventig onderdelen ontwikkeld,' legt Rudinac uit. 'Op die manier kost LEA aanzienlijk minder om te produceren dan wat er verder op de medische markt verkrijgbaar is.' Verzekeraars en de overheid kunnen kosten besparen als mensen gezonder en langer onafhankelijk leven, nog los van LEA's positieve bijdrage aan het welzijn van de gebruiker. 'Door te investeren in preventie, verlaag je de zorgkosten. We zijn momenteel met verzekeraars aan het bekijken of patiënten LEA voor een laag bedrag in huis kunnen krijgen, maar een bedrijfsmodel ontwikkelen voor de zorgsector is niet eenvoudig.' Het is duidelijk dat Rudinac niet geïnteresseerd is in snel rijk worden. 'Als je miljoenen wilt verdienen, dan maak je niet iets complex; dan maak je iets simpels wat je over de hele wereld aan consumenten kan verkopen,' legt ze uit. 'Wij van Robot Care Systems willen een

verandering teweegbrengen. Wie kan die mensen helpen die het alleen niet redden, nu er steeds minder verzorgingstehuizen zijn? Wij willen mensen in nood met deze technologie van dienst zijn,' zegt ze. En zo te zien gaat haar dat nog lukken ook, mede dankzij het SILVER-consortium. 'We hebben de competitie voor fase 3 gewonnen en hebben nu een contract afgesloten om LEA in de praktijk te testen. Ze helpen ons bij het organiseren van klinische trials.' Die trials zijn internationaal en zullen worden gehouden in Finland, Denemarken, Zweden, Nederland en het Verenigd Koninkrijk.

In de tussentijd wordt LEA getest door lokale groepen van gebruikers met een mobiliteitsbeperking. 'We gaan onze gebruikersgroepen uitbreiden met parkinsonpatiënten, mensen met dementie en misschien ook blinden, om te onderzoeken hoe we hen kunnen helpen.' Het bedrijf van Rudinac wordt breed gesteund. Verzekeraar CZ heeft erin geïnvesteerd, evenals de Rabobank en de regionale ontwikkelingsmaatschappij InnovationQuarter. Daarnaast mocht Robot Care Systems de Herman Wijffels Innovatieprijs in ontvangst nemen, waarvoor 850 innovaties waren genomineerd. 'Dat is voor mij bevestiging vanuit de samenleving dat ouderen ons toch na aan het hart liggen.'



Biofilms printen wordt kinderspel

De deelname van de TU Delft aan de editie 2015 van de wedstrijd voor International Genetically Engineered Machines (iGem) is een groot succes geworden. In september sleepte het team tijdens de Giant Jamboree in Boston de eerste prijs in de wacht met een 3D-biofilmprinter gemaakt van K'NEX. Ook mocht het prijzen in ontvangst nemen voor de beste hardware, de beste website en het beste toegepaste ontwerp, plus een aantal nominaties in andere categorieën. Samantha Basalo Vásquez, Héctor Sangüesa Ferrer en Anne Rodenburg zaten in het winnende team.

Biofilms zijn groepen bacteriën die zich aan een oppervlak hechten. Ze zijn bijzonder lastig te verwijderen en kunnen apparatuur verstoppen of je tanden bederven: tandplak is een van de meest voorkomende vormen van biofilm. 'Biofilms worden steeds lastiger te verwijderen,' legt Anne Rodenburg uit. 'Je hebt vast weleens gehoord van ziekenhuisbacteriën die resistent worden voor antibiotica. Die kunnen overal groeien, zelf op protheses in het menselijk lichaam.' Zulke schadelijke biofilms vormen een aanzienlijk en kostbaar probleem, zowel voor de gezondheid als voor het bedrijfsleven. 'Er wordt veel onderzoek gedaan naar het voorkomen van biofilms. Daar heb je reproduceerbare onderzoeksmonsters voor nodig,' aldus Samantha Basalo Vásquez. 'Bacteriën groeien in willekeurige vormen. Als je ze zover kunt beheersen dat ze in een bepaalde vorm groeien, kun je steeds onder dezelfde omstandigheden tests doen,' legt Héctor Sangüesa Ferrer uit. De teamleden kwamen op het idee om biofilms te printen teneinde de vorm

en structuur ervan te beheersen. Daarbij wilden ze ook het vormingsproces beïnvloeden. Bacteriën vormen biofilms met behulp van nanodraadjes. 'Dat doen ze van nature,' vertelt Sangüesa Ferrer, 'maar onder wisselende omstandigheden en dat is niet te beheersen. Wij wilden een biofilm die we konden maken wanneer wij dat wilden, in de vorm van onze keus.' Eerst hebben ze daarvoor een bacteriënstam genetisch gemanipuleerd. 'We hebben een stukje DNA in een plasmide ingebracht zodat de bacteriën het eiwit CsgA zouden maken,' legt Basalo Vásquez uit. Dat eiwit maakt deel uit van de extracellulaire matrix van nanodraden die de cellen bijeenhoudt.

Aan-uitknop

Vervolgens bouwde het team een 'aan-uitknop' in om de timing van de vorming van de biofilm te kunnen regelen. 'Daarvoor hebben we een klein suikermolecuul gebruikt: rhamnose. Als je die toevoegt, gaan de bacteriën CsgA produceren en nanodraden vormen,' vertelt Basalo Vásquez. Omdat het twee dagen duurt voordat de biofilm zich heeft

gevormd, was er ook iets nodig om de cellen te ondersteunen en tijdens het proces in de juiste structuur te houden. Geïnspireerd door het bioprinten van weefsels kwamen ze op het idee van een steiger. Daarvoor maakten ze met een combinatie van calciumchloride en alginaat een hydrogel. 'Als alle bacteriën eenmaal door de nanodraden zijn verbonden, kun je de hydrogel weer oplossen. De cellen blijven dan aan elkaar zitten zonder dat een externe structuur nodig is,' aldus Sangüesa Ferrer.

Hoewel hun 3D-printer veel aandacht kreeg in de media, was het de combinatie van synthetische biologie en 3D-printen waardoor hun project opviel. Sangüesa Ferrer: 'De genetische manipulatie die we hebben gedaan was op zich interessant, maar daarvoor hebben we vrij normale technieken gebruikt. De combinatie met het printen en het gebruik van de steiger maakte het bijzonder.' Ze wonnen de wedstrijd na acht maanden hard werken. 'Begin dit jaar hebben we meerdere keren met zijn allen zitten brainstormen en we hadden al een

Even voorstellen

Samantha Basalo Vázquez kwam na haar bacheloropleiding chemische technologie naar Delft om biochemische technologie te studeren. 'Ik ben bij het iGem-team gegaan omdat ik meer te weten wilde komen over biologische modellering en de biotechnologiesector. Tijdens het project was ik verantwoordelijk voor de biologisch-chemische modellering. Ik ga nu stage lopen en daarna begin ik aan mijn afstudeerproject.'

Anne Rodenburg kwam het team versterken vanuit de Hogeschool Rotterdam. 'Ik was derdejaars biochemie en moleculaire biologie toen ik over iGem hoorde. Ik vond het een eer om deel uit te maken van het team. Ik had niet verwacht dat ik de Delftse studenten zou kunnen bijhouden, maar mijn praktijkervaring heeft daarbij geholpen. Ik heb voor iGem de fondsenwerving en de begroting verzorgd. Na mijn afstuderen wil ik graag mijn studie voortzetten en een masteropleiding Life Sciences and Technology doen aan de TU Delft.'

Héctor Sangüesa Ferrer studeerde biotechnologie in Barcelona en kwam naar Delft om meer te weten te komen over de technologische kant van de biowetenschappen. 'Hier zijn ook meer mogelijkheden om mee te doen aan interessante projecten als dit. Voor iGem had ik de leiding over het lab en het veiligheidsmanagement. Momenteel ben ik bezig met mijn masterscriptie, daarna ga ik elders op zoek naar nieuwe ervaringen. Er zijn veel bedrijven die zich hiermee bezighouden en dat worden er elke dag meer.'

Omdat de wedstrijd ook is gericht op het presenteren van synthetische biologie aan een breed publiek, moesten we nadenken over het begrijpelijk maken van ons idee'

top drie van ideeën,' herinnert Basalo Vázquez zich. Zoals zo vaak kwam het beste idee op een avond spontaan op, toen enkele teamleden per trein op weg waren naar huis. 'Het stond niet eens op onze shortlist, maar het idee om biofilms te printen viel meteen in de smaak,' vertelt ze.

Fondsenwerving

Maar eerst moesten ze naar Boston. Het was al april toen ze eindelijk hun project hadden uitgekozen. 'De meeste andere teams waren al begonnen en de tijd begon te dringen,' geeft Sangüesa Ferrer toe. 'Dus hebben we snel een literatuuronderzoek gedaan en zijn we begonnen concrete plannen te maken.' Fondsenwerving was een belangrijk aspect. Rodenburg nam hierin het voortouw. 'Je maakt reis- en verblijfskosten als je naar Boston gaat. En de registratie voor iGem is ook vrij duur,' vertelt ze. 'Ik ben meteen bedrijven gaan benaderen, maar het duurde even voordat ik de juiste personen te pakken kreeg. Gelukkig had de TU Delft al geld voor ons gereserveerd in de begroting.' Ook hadden ze veel apparatuur en materiaal nodig, waaronder enzymen, kloneringskits en koelkasten. Ze zijn erg te spreken over de steun die ze van de universiteit ontvingen. 'Bij Nanotechnologie kregen we een lab in bruikleen. En we mochten ook apparatuur van hen gebruiken, zoals een centrifuge en een thermocycler,' vertelt Rodenburg. 'Mensen van de universiteit hebben ons niet alleen in materiële zin geholpen, maar ook met kennis,' voegt Sangüesa Ferrer toe. 'Ze legden uit welke technieken we al dan

niet moesten gebruiken.' Hulp en advies waren uiteraard toegestaan, maar ze moesten het project zelf opzetten en uitvoeren. 'Daar hebben we veel van geleerd,' zegt hij. 'Meer dan binnen een normale opleiding. Omdat de wedstrijd ook is gericht op het presenteren van synthetische biologie aan een breed publiek, moesten we nadenken over het begrijpelijk maken van ons idee. En we moesten nog veel meer doen: simuleren, projectmanagement, fondsen werven, pr en ga maar door.'

Basalo Vázquez had de leiding over het simuleren. 'We hebben wiskundige modellen opgesteld om de vorm van de eiwitten en de uiteindelijke biofilm te voorspellen. We hebben de productie van het CsgA gemodelleerd om te zien hoe lang de structuren nodig zouden hebben om zich te vormen. Ook hebben we gekeken hoe sterk de structuur zou worden bij verschillende concentraties rhamnose.' De kwaliteit van de modellen was een van de redenen voor hun overwinning, vindt Sangüesa Ferrer. 'Simuleren is in de biologie nog vrij nieuw, omdat het niet makkelijk is om een model te maken van een biologisch systeem. Als je bijvoorbeeld een motor maakt, ken je alle parameters. In de biologie ontdek je heel veel pas wanneer je gaat experimenteren. Bij de meeste iGem-teams was er geen sterk verband tussen hun simulaties en hun labexperimenten, maar wij hebben modellen ontwikkeld die onze resultaten verklaren.'

K'NEX

Hoewel het biologische deel van het project goed verliep, was de keuze voor een printer niet eenvoudig. 'We

Het grote publiek

'We richten ons graag tot het grote publiek,' vertelt Anne Rodenburg. 'Zo hebben we bijvoorbeeld in het kader van het Delft Festival of Technology aan kinderen uitgelegd wat een microscoop is, en wat plasmiden zijn. Dat valt niet mee.' Hun 3D-printer zal worden tentoongesteld in het Science Centre Delft. 'Achter glas, zodat de bezoekende kinderen hem wel heel laten,' voegt ze

toe. 'We hebben ook een businesscase voor studenten gemaakt en hun gevraagd om toepassingen voor onze printer te verzinnen. Ze hadden veel creatieve ideeën, zoals inlegzooltjes tegen stinkvoeten printen.' Het team is ervan overtuigd dat er meer over synthetische biologie moet worden uitgedragen. 'Als mensen er niks van afweten, gaan ze allemaal enge dingen verzinnen,' aldus

Sangüesa Ferrer. 'En je kan ook wel enge dingen doen, maar je moet juist levens redden,' vervolgt Rodenburg. 'In het verleden deden we al vergelijkbare dingen, zoals de perfecte slakrop proberen te telen. Wat we nu doen is hetzelfde, maar dan veel sneller en op veel kleinere schaal.'

hebben bestaande inkjet- of 3D-printers overwogen, maar die waren lastig te herprogrammeren, vooral omdat wij geen programmeurs zijn. Daarnaast kun je met een inkjetprinter niet driedimensionaal printen. Met een 3D-printer natuurlijk wel, maar die zijn dan weer erg kostbaar en groot. En ze hebben een hete spuitkop, waardoor de bacteriën doodgaan,' legt Basalo Vásquez uit. Ze besloten zelf een printer te bouwen. 'Op een dag had Samantha K'NEX bij zich en begon ermee te bouwen,' vertelt Rodenburg. Basalo Vásquez: 'Als kind had ik heel veel K'NEX, waar ik hijskranen en auto's mee bouwde. Dat stond allemaal nog bij mijn ouders thuis.'

Eureka-moment

Dat was het eureka-moment. 'Je hebt gewoon iets nodig dat in drie dimensies beweegt,' aldus Basalo Vásquez. 'Het idee was om een draaiende printer te bouwen met een spuitkop die een cirkelbeweging maakt. Dat resulteert in een cilindrische biofilm, waarvan we meerdere lagen op elkaar kunnen printen.' Maar hoewel Basalo Vásquez al haar K'NEX meebracht, had het team niet genoeg van de juiste onderdelen. Daarom vroeg teamlid Marit van der Does op de radio aan mensen om hun K'NEX te doneren aan de wetenschap. De respons was overweldigend. 'Heel wat mensen zeiden op de radio dat ze hun K'NEX wilden doneren,' vertelt Rodenburg. 'Het was opmerkelijk om te zien hoe veel mensen betrokken wilden zijn bij een project van de TU Delft,' vervolgt Sangüesa Ferrer. Uiteindelijk ontvingen ze veel meer dan ze nodig hadden. Het team is van plan het overschot aan het

goede doel te schenken. Nu waren ze klaar om naar Boston te gaan, waar op 24 september de jamboree van start ging. Elk team gaf een presentatie van twintig minuten. Aangezien er 285 teams deelnamen, nam dat drie dagen in beslag. 'Wij waren op de derde dag aan de beurt, dus we stonden onder druk om het perfect te doen,' vertelt Rodenburg, die de presentatie samen met teamlid Max van 't Hof gaf. 'Daar werd je op beoordeeld, maar ook op je website, modellering en dergelijke.' Omdat ze geen idee van hun score hadden, hadden ze geen hooggespannen verwachtingen. 'We zouden zelfs onze officiële jasjes thuislaten.' Maar ze belandden in de finale, waardoor Rodenburg de presentatie opnieuw moest geven, nu voor een publiek van ruim 2.000 mensen. 'Die tweede keer was ik heel rustig, ik had toen al twintig keer geoefend.' Tot hun verrassing wonnen ze. 'Het was zo'n grote wedstrijd dat we niet eens hadden verwacht de finale te halen,' aldus Basalo Vásquez.

Oscars

Tijdens de Oscar-achtige uitreiking moesten ze meerdere keren op het podium verschijnen. 'We hadden de hoofdprijs gewonnen, plus een aantal technische prijzen waarvoor alle teams in aanmerking komen: voor beste Wiki, beste toegepaste ontwerp en beste hardwareproject. We zijn ook genomineerd in de categorieën beste modellering, beste beleid en praktijk, beste DNA-gedeelte en beste manier om onderdelen te verzamelen.' Het was een enorme klus, maar uiteindelijk de moeite

waard. 'De laatste week voor de wedstrijd was hectisch, toen hebben we dagelijks van 8.00 tot 1.00 gewerkt om alles af te krijgen,' vertelt Rodenburg. 'De jamboree was ook een hoop werk,' voegt Sangüesa Ferrer toe. 'We wilden ons project delen met zoveel mogelijk mensen – niet alleen experts, maar ook studenten over de hele wereld. Dat was ontzettend leuk. Ik kan dit iedereen aanbevelen.'

Nu ze weer terug in Delft zijn werken ze verder aan het project. 'We hebben onlangs met succes de hydrogelsteiger opgelost. Voor de wedstrijd hoefden we alleen maar te bewijzen dat de hydrogel de gewenste vorm zou behouden,' aldus Rodenburg. 'Ook zijn we onze printer aan het automatiseren. Momenteel moet je de drie motoren nog handmatig bedienen. Uiteindelijk willen we een paper publiceren over wat we hebben bereikt.' Zo willen ze garanderen dat dit veelbelovende werk kan worden voortgezet nadat ze zijn afgestudeerd en aan een carrière zijn begonnen. Want hoewel de printer hoofdzakelijk is gebouwd om monsters te maken voor reproduceerbare tests, zijn er andere toepassingen denkbaar. 'De experts in Boston zagen hier ook veelbelovende technologie in om "nuttige" biofilms mee te maken, zoals bacteriële structuren voor gebruik in farmaceutica,' vertelt Sangüesa Ferrer. 'Wie weet? Synthetische biologie is een nieuw vakgebied, dus alles is mogelijk.'

Innovatie uit noodzaak

Professor Michel van Eeten is voorzitter van de groep Economics of Cybersecurity van de faculteit Techniek, Bestuur en Management (TBM). Samen met zijn collega dr. Carlos Gañán heeft hij een online cursus opgezet die honderden professionals uit de hele wereld heeft aangetrokken. 'Af en toe kom ik nog wel eens iemand tegen die zegt: "Ik ken jou van die cursus!";' aldus Van Eeten.

Nu onze levens steeds meer verlopen via internet, wordt cybersecurity voor organisaties steeds belangrijker. Twintig jaar geleden was cybersecurity niet veel meer dan een kwestie van antivirussoftware op je pc zetten. Als academisch vakgebied is het dan ook nog nieuw. 'Nu pas heeft de TU Delft een masteropleiding cybersecurity,' vertelt professor Michel van Eeten. 'Er zijn maar weinig mensen met een opleiding in dit vakgebied, de meesten hebben een andere achtergrond.' Van Eeten heeft zelf een achtergrond in de theoretische bestuurskunde. Zijn interesse in cybersecurity werd ongeveer tien jaar geleden gewekt. 'Ik bekeek het vakgebied eerst nogal kwalitatief: ik keek naar de bedrijven en het aanwezige beleid.' Een student met een achtergrond in informatica bracht daar verandering in. In opdracht van de OESO hebben ze een empirische analyse van spamgegevens uitgevoerd om vast te stellen wat internetproviders konden doen tegen de verspreiding van malware. Tot Van Eetens verrassing bleek dat een geheel nieuwe benadering. 'Informatici hadden met behulp van technische tools enorme datasets aangelegd, maar niemand analyseerde die vanuit het perspectief van beleid en economie.'

De publicatie die volgde werd enthousiast ontvangen. Daarna vroeg Van Eeten met succes een aantal beurzen aan bij Nederlandse en internationale financiers.

Die maakten het mogelijk om zijn team uit te breiden, en wat met één project is begonnen is nu een groep van twaalf onderzoekers. Carlos Gañán, die bij het gesprek is als medeorganisator van de cursus, is een van hen. 'Wat mij aantrok was de combinatie van economie en cybersecurity. In Europa houden zich daar niet veel onderzoeksteams mee bezig,' zegt hij. 'Ik was gewend aan een meer theoretische benadering. Bij de TU Delft pakten we maatschappelijke problemen juist praktisch aan.' Een unieke aanpak levert unieke kennis op, dus besloten Van Eeten en Gañán om hun kennis met de rest van de wereld te delen door middel van een online cursus. Oorspronkelijk zou het een voor iedereen toegankelijke Massive Open Online Course (MOOC) worden. Maar het idee breidde zich uit, en nadat onderzoeksteams uit het Verenigd Koninkrijk, Duitsland en de VS zich hadden aangesloten viel de keuze op een cursus voor professionals. 'Cybersecurity is een interdisciplinair vakgebied, dus hebben we een cursus ontwikkeld voor professionals op het gebied van economie, cybersecurity, psychologie en informatica,' legt Gañán uit.

Van alle leeftijden

De resulterende vijfweekse cursus trok meer dan 400 professionals uit de hele wereld, met uiteenlopende achtergronden en van alle leeftijden.

'Er deden mensen mee van China tot Afrika, van tieners tot tachtigers,' aldus Gañán. De colleges voor de verschillende weken werden opgenomen door diverse projectpartners. Aan het begin van de cursus gaf hoogleraar Ross Anderson uit Cambridge een kort historisch overzicht van het vakgebied en de ontwikkeling daarvan de afgelopen vijftien jaar. 'Hij is echt de vader van dit veld in het cybersecurity-onderzoek.'

De cursus van Van Eeten en Gañán ging over metriek in de beveiliging. 'Sommige bedrijven denken nog steeds dat cybersecurity een kwestie is van tellen hoeveel firewalls en andere oplossingen je geïnstalleerd hebt. Hoe meer ze er hebben, en hoe nieuwer die zijn, hoe veiliger – denkt men,' legt Gañán uit. 'Maar er is geen universele maatstaf om veiligheid aan af te meten.' Daarom vroegen ze hun studenten om na de denken over de vraag wat daadwerkelijk informatief is en wat niet. 'We hebben besproken wat voor databronnen er zijn, en wat je daarvan kunt leren. We hebben ze ook geleerd hoe je cijfers kunt interpreteren en waar die eigenlijk een weerslag van zijn,' aldus Van Eeten. 'Het aantal firewalls zegt bijvoorbeeld waarschijnlijk iets over het budget van de beveiligingsafdeling, en is mogelijk iets wat leveranciers ook graag bijhouden omdat ze er meer willen verkopen.' Ook werd er aandacht besteed aan maturity-modellen, waarmee



Over Michel van Eeten en Carlos Gañán

Professor Michel van Eeten studeerde bestuurskunde in Leiden, en promoveerde in Public Management aan de TU Delft, waar hij sindsdien is gebleven. In 2009 werd hij aangesteld als hoogleraar. Samen met zijn team analyseert hij grote datasets met meet- en incidentgegevens over internet om vast te stellen hoe de markten voor internetdiensten omgaan met beveiligingsrisico's. Hij heeft beleidsonderzoek gedaan voor de ITU, de OESO, de Europese Commissie en de Nederlandse overheid. Hij is tevens lid van de Nederlandse Cyber Security Raad. Dr. Carlos Gañán deed een masteropleiding telecommunicatie en promoveerde in de informatiebeveiliging aan de Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) in Barcelona. Hij heeft tevens een opleiding bedrijfskunde afgerond en is afgestudeerd in bestuurs- en bedrijfsmanagement aan de open universiteit van Catalonië. Voordat hij naar Delft kwam was hij lid van de groep informatiebeveiliging van de afdeling technische telematica van de UPC. Als postdoctoraal onderzoeker doet hij aan de TU Delft onderzoek naar de economische aspecten van informatiebeveiliging en de gevolgen van digitale misdaad.

organisaties hun methodes en processen kunnen afzetten tegen een aantal benchmarks. Van Eeten: 'De gedachte hierachter is dat cybersecurity een aantal ontwikkelingsfases doormaakt. Een maturity-model beschrijft je groei van eenvoudige tegenmaatregelen, zoals geïnfecteerde computers opschonen, naar uitgebreide policy's en hooggekwalificeerd personeel.' Investerings kwam ook als onderwerp aan bod. 'Natuurlijk zijn er standaardbenaderingen voor investeringen,' aldus Van Eeten, 'maar die gaan ervan uit dat je goed op de hoogte bent van datgene wat je met je investering wilt verbeteren. Bij cybersecurity is dat vaak niet het geval.' Tenzij je te maken krijgt met steeds terugkerende incidenten, zoals virussen. 'Van zo'n standaardprobleem kun je inschatten hoe groot de impact gaat zijn. Dan kun je rationele investeringsmodellen ontwikkelen.' De situatie wordt vaak gecompliceerd doordat je te maken hebt met een menselijke tegenstander. 'Menselijke tegenstanders zijn onvoorspelbaar: ze vertonen wel patronen, maar die zijn niet bepalend. En zelfs als je kan voorspellen dat een bepaald incident gaat plaatsvinden, is het vaak lastig om de impact ervan in te schatten.' De studenten werd dan ook niet geleerd hoe ze de potentiële impact en de noodzakelijke investeringen kunnen berekenen, maar om conceptueel naar dit aspect te kijken. Daarvoor moesten de studenten een investeringsmodel

op basis van speltheorie gebruiken. Gañán legt uit: 'Ze moesten vragen beantwoorden als: wat is de relatie tussen de aanvaller en de aangevallen partij, welke middelen hebben ze, hoe gaan ze de interactie met elkaar aan en wat voor strategie kiest de aangevallen partij na de aanval? Dat was een onbekend onderwerp voor de meeste deelnemers, dus moest er wat achtergrond worden ingevuld.' De studenten waren ook onbekend met de daadwerkelijke kosten van investeringen in beveiliging. Van Eeten: 'Die kosten gaan verder dan alleen nieuwe veiligheidsoplossingen.'

Verborgene kosten

Er moet ook personeel worden opgeleid, en misschien is voor de nieuwe beveiligingsmaatregel wel meer tijd nodig aan de gebruikerskant, met productieverlies als resultaat. Daarom kopen bedrijven vaak ook geen specifieke tools om een probleem op te lossen, al zijn die op zich niet duur. De meeste studenten hadden nog nooit nagedacht over zulke verborgen kosten.' In totaal zijn er 22 videocolleges opgenomen. 'We hebben ook live webinars gehouden in Google Hangouts, waar we vragen hebben beantwoord over het onderwerp van die week,' vertelt Gañán. Het lesmateriaal werd aangevuld met toetsen en andere bronnen. 'Omdat de deelnemers zo'n heterogene groep waren, konden we niet uitgaan van aanwezige kennis. Speltheorie zal bijvoorbeeld voor veel studenten best

‘Er werden goede gesprekken gevoerd op het forum en mensen gaven goed doordachte antwoorden op elkaars vragen’

zwaar zijn geweest. Gelukkig is er veel materiaal op internet te vinden, dus konden we ze doorverwijzen als ze de basis niet begrepen,’ vervolgt Van Eeten. ‘Sommige deelnemers waren techneuten, die doorkregen dat alleen naar de technologie kijken bij bepaalde problemen niet afdoende is. Zij wisten niets over markten, prikkels of de redenen waarom bedrijven investeren. Anderen hadden een achtergrond als consultant of econoom. Die moesten worden bijgepraat over de technische aspecten.’ Gañán: ‘Er deden zelfs juristen mee. Vanwege de kans op data-inbreuk heeft dit onderwerp ook een juridische kant.’ Dit was de eerste ProfEd-cursus die de TU Delft heeft aangeboden. Van Eeten is erg te spreken over het niveau van de deelnemers. ‘Er werden goede gesprekken gevoerd op het forum en mensen gaven goed doordachte antwoorden op elkaars vragen.’ Die toewijding bleek ook tijdens de eindopdracht. ‘Daar hadden we geen harde eisen aan gesteld, dus gewone studenten zouden wellicht met het minimum hebben volstaan. Maar wij wilden dat deze mensen echt over het geleerde zouden nadenken, en dat hebben ze gedaan. Ze hebben weloverwogen stukken geschreven over de toepassing van hun kennis, binnen hun eigen bedrijf of voor hun klanten.’ De cursus was ook gelegenheid voor de deelnemers om een professioneel netwerk op te bouwen. ‘We hebben een speciale LinkedIn-groep opgezet, die zelfs nu na afloop nog wordt bezocht. Al

met al is het een succes,’ besluit Gañán. Dat succes is voor een deel te danken aan de praktische benadering waarvoor Van Eeten en Gañán hebben gekozen. ‘Normaal gesproken is een cursus cybersecurity zwaar theoretisch: er wordt uitgelegd wat de technologieën zijn en hoe je daar iets voor ontwerpt. De complexiteit van de praktijk blijft buiten beeld. Mensen studeren af en komen er dan achter dat hun gereedschapskist is verouderd en dat de realiteit een stuk rommeliger is,’ aldus Van Eeten. ‘Als cryptograaf kun je je misschien afzijdig houden van hoe cryptografie in de praktijk werkt, maar wat wij doen draait om de interactie tussen technologie, economie en wetgeving. Wij moeten de strijd met de realiteit aan.’

Hostingmarkt

Goed voorbeeld is dat de Nederlandse politie contact met hen opnam toen ze de hostingbranche wilden aanpakken. ‘De Nederlandse hostingbranche stond traditioneel op de lijst met landen met de hoogste criminele activiteit. Dat is voor een deel omdat we veel hostingbedrijven en infrastructuur hebben, maar zou ook kunnen betekenen dat bedrijven betaald krijgen voor het faciliteren van misdaad,’ aldus Van Eeten. Weer was er een nieuwe benadering nodig. ‘We kwamen er achter dat niemand in dit vakgebied op de juiste manier naar de hostingmarkt keek.’ Gañán legt uit: ‘Iedereen gebruikte routeerdata om hostingbedrijven te identificeren. Maar routeerdata laat alleen zien hoe het internetverkeer verloopt,

niet wie er verantwoordelijk is voor de apparaten die dat verkeer genereren. Dat kun je veel beter bekijken aan de hand van WHOIS-gegevens, een database waarin wordt bijgehouden wie welke IP-adressen in het bezit heeft.’ Dat leidde tot de allereerste accurate kaart van de hostingbranche, en het verhaal kreeg nog een vervolg. ‘Tot onze verbazing stuurde het Openbaar Ministerie tien brieven aan “smerigste” hostingbedrijven die we hadden geïdentificeerd,’ vertelt Van Eeten.

Dat leidde tot interessante discussies binnen de branche. ‘Bedrijven op de lijst namen contact met ons op om te vragen waarom ze daarop stonden. Wij hebben uitgelegd hoe onze metriek tot stand kwam. Nu organiseren ze zichzelf om hun branche op te schonen: ons rapport heeft nogal wat teweeggebracht.’ Hun bevindingen hebben ook wetenschappelijk waarde. ‘Dat is gevoelige informatie die we niet openbaar maken. Maar we hebben onze methodologie gepubliceerd en andere landen kunnen die nu toepassen.’ Allemaal cutting edge werk, aldus Van Eeten. ‘Het is geen kwestie van volgroeid onderzoek dat na jaren van academisch werk in de praktijk wordt gebracht. We moeten nog veel fundamentele vragen beantwoorden, dus veel van onze innovaties komen voort uit pure noodzaak. Ik houd daar erg van, uitzoeken hoe de wereld echt in elkaar zit.’

Technische Universiteit Delft

T: +31 (0)15 27 89111

E: info@tudelft.nl

www.tudelft.nl

Postadres:

Postbus 5

2600 AA Delft

Nederland

