

MECHATRONICA
MACHINEBOUW Abonneren

ACHTERGROND

In regeltechniek nog steeds verrassend veel vooruitgang

Tom Oomen is sinds mei van dit jaar zowel hoogleraar in Eindhoven als Delft. Onlangs won hij de [Grand Nagamori Award](#), een oevreprijs voor zijn werk op het gebied van motioncontrol. Een vraaggesprek over Oomens ervaringen en zijn kijk op de hightech en wat hij 'applicatiegedreven fundamenteel onderzoek' noemt.

René Raaijmakers

5 OKTOBER 2021

Sinds mei van dit jaar is Oomen hoogleraar, vier dagen in Eindhoven, de resterende dag in Delft. Vier dagen TUE is eigenlijk vanzelfsprekend. Oomens carrière is doordrenkt met Brabantse hightech. Hij begon er als werktuigbouwkundestudent, werd geïnspireerd door Maarten

Steinbuchs colleges over motionsystemen en deed er ook zijn eerste onderzoekservaring op, in de cd-spelers.



Tom Oomen is sinds dit begin jaar hoogleraar aan de technische universiteiten van Delft en Eindhoven.

Oomen: 'Die hoogwaardige positioneersystemen hebben me altijd getrokken. In mijn wetenschappelijke carrière wilde ik altijd regeltechniek ontwerpen die toepassingen daadwerkelijk verder bracht. Ook bij die optische leessystemen moest het steeds nauwkeuriger. Steeds meer data op cd- en blu-ray-drives. Het moest ook nog eens tegen schokken kunnen. Bij Philips werd het zelfs zo gek dat we op een gegeven moment schijfjes met scheuren en grote krassen moesten uitlezen. Hoe doe je dat?'

Oomen promoveerde in Eindhoven, maar trok daarna de wereld in. 'Regeltechniek heeft heel vaak wiskundige modellen nodig. Met behulp daarvan ontwikkel je regelaars. Modellen zijn vooral belangrijk bij steeds

complexere systemen.' De kennis daarvan was op dat moment in Eindhoven maar heel beperkt aanwezig. 'In mijn promotietijd heb ik daaraan gewerkt, maar daarna ben ik meteen naar Zweden gegaan, de beste plek in de wereld voor systeemidentificatie.'

Systeemidentificatie is het metier om wiskundig modellen te genereren om systemen te beschrijven uit meetdata. Modelleren kan natuurlijk ook met fysische natuurwetten zoals die van Newton. Maar de meeste systemen zijn daarvoor te complex, bijvoorbeeld omdat ze vervormen. Zelfs rekenintensieve eindige-elementenmethodes zijn vaak ontoereikend. 'Je kunt echter ook data verzamelen en daarmee het systeem beschrijven. Zeker in deze tijd is dat heel makkelijk: je stuurt een stroom naar een motor, meet wat de respons is en met behulp van die informatie maak je een schatting van een dynamisch model.'

Klinkt makkelijk, maar vaak is de dynamica heel complex en zijn er veel in- en uitgangen. Oomen besloot dat hij zich daar na zijn promotie op wilde werpen. Zo kwam hij dus in Zweden, het land van Harry Nyquist, mogelijk 's werelds beroemdste regeltechnicus.



In Eindhoven was Oomen verwend met omvangrijke labs en mooie toepassingen, aan de technische universiteit van Stockholm ging het vooral om fundamentele kennis. Met Zweedse collega's ontwikkelde hij nieuwe identificatie-algoritmen die hij, eenmaal terug in Eindhoven, ging uitproberen in de praktijk. 'In Zweden stelden we gewoon uit nieuwsgierigheid de vraag of het zin zou hebben om onder ongewone

omstandigheden data te verzamelen. In Nederland zie je een sterke drive richting toepassingen en daarmee is er veel minder ruimte voor dergelijk nieuwsgierigheidsgedreven onderzoek.'

Bode-plaatjes *common language*

Met het inzicht uit Zweden lukte het Oomen en zijn studenten verrassend genoeg wel om met de ontwikkelde algoritmen modelfouten in kaart te brengen. 'Je hebt niets aan een model als je niet weet hoe goed dat model is. Systemen kunnen immers instabiel worden als je niet uitkijkt. Dan gaan ze kapot, met name als je de regellus gaat sluiten.'

Naar welke industrie je ook gaat in de omgeving Eindhoven, iedereen gebruikt niet-parametrische modellen of frequentie-responsfuncties, die zogenaamde Bode-plaatjes opleveren. Oomen: 'Dat is onze *common language*. Er was een heilig geloof dat de werkwijze met frequentie-respons- en Bode-diagrammen correct was. Met de in Zweden ontwikkelde nieuwe algoritmen kwamen we er echter achter dat er gigantische fouten in kunnen zitten. Het was zelfs zo erg dat een van mijn studenten modelfouten zag die een factor 2 te groot waren. Ik heb hem teruggestuurd met de mededeling: dat zal wel een fout zijn in je software. Maar nadat hij alles had nagekeken bleken de modelfouten inderdaad een factor 2 groter dan we oorspronkelijk dachten.'

De oorzaak zat 'm in demping. 'De invloed daarvan hadden we voor mechanische systemen altijd zwaar onderschat', zegt Oomen. 'Klop op een tafel en je hoort een uitdempende toon. Ook in hightech systemen zit demping. Het bleek dat we bij het samenstellen van frequentie-responsmodellen de resonantiepieken soms net misten en dus niet

vastlegden. Die nieuwe algoritmen waren in staat om die resonantie, inclusief de maximale versterking, wel exact in kaart te brengen.'

Applicatiegedreven

Die ervaring smaakte naar meer en Oomen vertrok naar het Australische Newcastle, een streek die bekend stond om het ijzererts en de kolen die daar de haven verlaten. Toch vind je daar op de universiteit het Precision Mechatronics-lab en een wereldvermaarde theoretische groep op systeemidentificatie en regeltechniek. 'Een van de beste in mijn vakgebied. Bijna iedereen die ik daarna tegenkwam, was ooit in Newcastle geweest.'

Oomen vertelt dat een deel van de universitaire researchers in Australië honderd procent van hun tijd aan onderzoek kunnen besteden. Of hij dat zelf ook zou ambiëren? 'In Nederland verdelen we als wetenschapper onze tijd gelijkmatig over onderzoek en onderwijs. Ik geniet heel erg van lesgeven. Door uit te leggen leer je je vak in nog meer detail. Zo organiseer ik ook mijn onderzoek. Ik vind het prachtig om met een team jonge mensen, zoals ik dat noem, applicatiegedreven fundamenteel onderzoek te doen.'

Dat is voor Oomen ook de reden om als wetenschapper in Eindhoven actief te zijn. 'We werken veel samen met de hightechindustrie. Je kunt hier op één dag meerdere bedrijven bezoeken en over dezelfde zaken praten. Ook nog in een heel open sfeer.'

Oomen meent dat dit ecosysteem uniek is. 'Mensen kennen elkaar allemaal. Ze zijn heel open en zien elkaar niet direct als concurrenten. Mijn promovendi vormen in feite een afspiegeling van de

hightechindustrie. Ze werken voor ASML, Canon, Philips en Thermo Fisher aan soortgelijke onderwerpen. Dat versterkt elkaar, waardoor ik een lange-termijnonderzoekslijn kan opbouwen op behoorlijk fundamentele onderwerpen.'



Oomen: 'Met lerende regeltechniek op oude modellen kun je regelmatig betere prestaties bereiken dan de specificaties die zijn opgesteld voor een toekomstige productgeneratie.'

Bij het kiezen van die onderwerpen neemt Oomen zijn ervaringen uit het buitenland mee. Zijn groep duikt regelmatig in een fundamenteel onderwerp waarvoor ze niet direct een toepassing zien. Hiervoor ontvingen ze onder meer Veni- en Vidi-beurzen, en kwamen er vervolgens achter dat er toch vaak snel interesse ontstond vanuit de industrie. 'Vaak lukt het ons om nog binnen een promotietraject de theoretische bevindingen te implementeren. Recent nog met werk op het gebied van hysteresemodelvorming en sensorkwantisatie. Het is dus nog steeds ontzettend belangrijk dat onderzoekers eigenwijs zijn en

voldoende mate van vrijheid ervaren om nieuwe ideeën te ontwikkelen. Tegelijkertijd zorgt het ecosysteem ervoor dat het echt tot innovaties leidt. Het is dus een enorm gaaf spanningsveld.'

Waarom koos je voor de universiteit? De industrie zwaait vast wel eens met mooie salarisstroompjes?

'Zeker kan ik in de industrie meer verdienen, maar mij trekt de inhoudelijke drive en de vrijheid die daarbij hoort. Die maken mijn werk ontzettend interessant. Ik werk sowieso heel intensief samen met hightech bedrijven. Zij betalen ook de meeste van mijn promovendi. Die bedrijven lopen tegen grenzen aan. Ze vragen hogere prestaties met regeltechniek. Ik heb de vrijheid en de ruimte om me echt te verdiepen in die fundamentele vragen, echt een stuk wiskunde. Om samen met een groep jonge mensen die theorie en tools op te bouwen, dat is ontzettend gaaf. Wellicht kan dat tot op zekere hoogte ook binnen bedrijven, maar niet met de vrijheid zoals ik die nu ervaar. Ik kan nu zelf inhoudelijke onderzoekslijnen uitzetten. Dat geeft me ontzettend veel voldoening.'

Daarbij gaat het niet altijd om nanometers en doorvoer. Oomen werkt met een aantal collega's al jaren samen met Demcon Macawi aan mechanische beademingssystemen, een onderzoek dat tijdens de coronapandemie vaart kreeg. 'Ademhalen is een heel periodiek fenomeen, maar is natuurlijk niet elke keer gelijk. Elke patiënt doet dat anders.'

Het idee was om lerende regeltechniek toe te passen om elke patiënt een optimaal drukprofiel aan te bieden. Een baby heeft een heel andere

longinhoud en ademt heel anders dan iemand op hogere leeftijd. 'We hebben regeltechniek ontwikkeld die rekening houdt met verschillen en afwijkingen in de longen per patiënt. In dat soort beschrijvingen zit natuurlijk meer onzekerheid dan in modellen voor precisiemechatronica. Maar met dezelfde lerende regeltechniek kun je vrij snel optimale drukprofielen aanbieden en mensen beter behandelen.'

We werken inmiddels aan een opvolger, waarbij het niet uitmaakt of patiënten wel of niet verdoofd zijn. 'De basissituatie is wat men *sedated patients* noemen. Een patiënt die weer bij bewustzijn komt, zal weer zelf beginnen met ademen. Daarop moet zo'n algoritme reageren. Constateren wanneer iemand begint met ademen is best moeilijk. We willen dat inbouwen in lerende regelalgoritmen. Het is eigenlijk heel veel data gebruiken, combineren met modellen om zo systemen te maken die veel beter aansluiten bij een breed scala patiënten. We hopen daarmee aan het eind van dit jaar klaar te zijn.'

Nu stellen ervaren artsen de mechanische ventilatiesystemen meestal in. 'Maar dat kost tijd en ze zijn zeker nu extreem druk. Dus als dat automatisch kan of als je artsen kunt ondersteunen, dan helpt dat. Het is ontzettend belangrijk dat je met name in kleinere longen niet veel te veel lucht blaast. Ik hoef het voorbeeld van een ballon natuurlijk niet te geven. Het moet goed en veilig, en daar kan regeltechniek bij helpen.'

Het zal duidelijk zijn dat de industrie veel belangstelling heeft voor het onderzoek van Oomens vakgroep, want de impact van regeltechniek is groot. Betere sturingen vertalen zich meteen in instrumenten en machines die beter presteren. Microscopen maken beelden met hogere resolutie, printers worden nauwkeuriger en wafersteppers belichten

meer chips.

De focus van de groep is regeling ontwerpen waarmee complexe systemen maximale prestaties bereiken. Oomens uitgangspunt is daarbij simpel. 'Zolang je het gedrag kunt voorspellen, kun je het compenseren. Dat is de stip op onze horizon daar naartoe te werken. De resultaten komen via mijn promovendi en trainingen direct bij de bedrijven.'



'Eigenlijk werken alle lerende regeltechnieken uit de literatuur niet.'

Als het om die *lerende* regeltechnieken gaat, dan constateert Oomen dat die nog nauwelijks in toepassingen zitten, terwijl die techniek in het afgelopen decennium wel serieuze stappen heeft gemaakt. 'Je ziet het nog nauwelijks, maar daar is wel een hele goede reden voor. De lerende technieken uit de literatuur nemen aan dat de taken in systemen altijd exact hetzelfde zijn. Maar in de industrie om ons heen doet geen enkel systemen steeds exact dezelfde taak. Het lijkt op elkaar, maar het is niet steeds 100 procent hetzelfde. Voor een brief beweegt een printer anders dan voor een foto. Dat hoor je ook als je naast je printer staat. Eigenlijk werken alle lerende regeltechnieken uit de literatuur dan niet.'

Daarom verdiepte Oomen zich de afgelopen jaren met een aantal promovendi in lerende regeltechnieken voor banen die een klein beetje kunnen variëren. 'We zien nu dat de industrie dat langzaam oppakt en ook daadwerkelijk toegepast.'

Jouw vak wordt dus ook een datagedreven vak?

'Dat is een heel interessante vraag. Er is ontzettend veel aandacht voor onder meer machine learning en artificial intelligence. Kijk maar naar de nieuwsberichten over spellen als Go, waar een machine een mens heeft verslagen. Voor een spel als Go kun je heel veel data genereren door heel veel scenario's te proberen. In mechatronische systemen is data ook heel goedkoop. In een paar seconden meet je heel veel. Maar als je heel veel scenario's wilt proberen, dan kost dat toch nog steeds heel veel tijd. Bovendien is het gevaarlijk voor je systeem. Het kan gewoon kapot gaan. Zet willekeurige motoringen op een printer en hij ligt

zomaar op zijn kant.'

'Wel kunnen we hele grote hoeveelheid data met modelkennis combineren. We weten vrij goed hoe bijvoorbeeld een motor zich gedraagt en hebben een redelijk beeld van de modelkwaliteit. Aan de ene kant kunnen we dan heel snel leren: door een printkop zeven keer op en neer te bewegen, kunnen we hem bijna perfect aansturen. Ook nog heel veilig.'

Wat zijn daar nog voor uitdagingen?

'Zelfs eenvoudige systemen zijn nog steeds niet perfect geregeld. Als een machine niet de gewenste prestaties bereikt, dan denken technici vaak aan een nieuwe generatie. Ik heb al meegemaakt dat mijn studenten met lerende regeltechniek op oude modellen betere prestaties bereikten dan de specificaties die waren opgesteld voor een toekomstige productgeneratie. Zolang je systeem voorspelbaar gedrag vertoont, kun je compenseren.'

Lerende techniek op een oude machine leverde betere prestaties dan de specs voor toekomstige systemen?

'Dat klopt. De directe begeleider geloofde de student ook niet. Hij dacht dat er een fout in de verwerking zat, omdat het systeem zulke prestaties niet zou moeten kunnen halen. Dus je moet niet onderschatten wat je nog met bestaande systemen kunt doen. In veel gevallen zijn lerende technieken met een simpele software-update op bestaande systemen te zetten.'

Met zowel aandacht voor machine learning als een nieuw mechanisch

ontwerp maak je dus grote stappen?

‘Ja, dat zou hand in hand kunnen gaan. De industrie doet dat al, maar allerlei richtlijnen kunnen een hindernis vormen. Bijvoorbeeld de eis dat het flexibele gedrag hoogfrequent genoeg moet zijn. Het systeem moet dan zo worden ontworpen dat trillingen de bandbreedte niet beperken. Je zou kunnen zeggen: we laten dat helemaal los en gaan het systeem uitrusten met heel veel actuatoren en sensoren. Die flexibiliteit gaan we gewoon regelen met regellusjes. Maar ja, dan loop je tegen complexiteit aan. Traditionele ontwerptechnieken werken lusje voor lusje en kunnen daarmee niet meer uit de voeten als het er te veel worden. Dus daarvoor is de huidige regeltechniek nog niet geschikt.’

‘Daarom ontwikkel ik met mijn team regeltechniek voor hoog dimensionale, complexe systemen. Als je daarmee flexibel gedrag zou kunnen onderdrukken, dan kun je systemen ontwikkelen die veel lichter zijn. Slimme regeltechniek vervangt in dat geval mechanische stijfheid. Het is een beetje een kip-ei-probleem. Er zijn nog geen lichtgewicht systemen, dus er is nog niet de motivatie om daarvoor regeltechniek te ontwikkelen. We proberen dat te doorbreken met prototypesystemen en casestudies die moeten aantonen wat er potentieel mogelijk is.’

Hoeveel draagt de industrie financieel bij aan jouw onderzoek?

‘Een aantal projecten wordt helemaal betaald. Bedrijven weten dat we technieken ontwikkelen die direct relevant voor hen zijn. Die willen ze ook direct toepassen. In dat geval betalen ze een promovendus voor 100 procent. Bedrijven vragen soms of die persoon een paar dagen bij hen op locatie kan werken, maar daarmee ga ik in principe niet akkoord. Een

promovendus zit op de universiteit. Hij of zij moet echt de tijd kunnen nemen om moeilijke problemen op te lossen. Natuurlijk komt de promovendus wel heel vaak bij de industriepartner: ze begeleiden masterstudenten die de experimenten doen aan de allermooiste systemen van de hele wereld. Naast de vaak wekelijkse begeleiding zitten de promovendi soms een aantal dagen erbij als er spannende experimenten worden uitgevoerd.'

Ze investeren dus vier of vijf jaar in zo'n promovendus?

'Sterker nog, ze willen vaak veel langere onderzoeken dan beperkt tot die vier jaar. Mijn eerste promovendus voor Canon Production Printing werd opgevolgd door twee promovendi en we zijn nu bezig met nog een vervolgtraject. Dan gaat het dus over onderzoekstrajecten van ruim tien jaar. Daaruit komen veel interessante inzichten die voor dat bedrijf belangrijk zijn. Dat geldt voor meer bedrijven.'

Dit zag je in de jaren zeventig en tachtig op researchlabs als Philips Natlab. Dat is nu dus naar de universiteit verschoven?

'Daar zat en zit natuurlijk veel vrij onderzoek bij dat niet direct een doel heeft. Dat soort onderzoek doen wij nu ook, zelfs met funding van de industrie. Vaak is het onderzoek dat voor meerdere bedrijven van belang kan zijn. High-risk, maar als het dan lukt, is de impact gigantisch.'

Een bedrijf als ASML heeft zelf een gigantische hoeveelheid researchers en ontwikkelaars. Die doen ook een beroep op jullie. Verschuift het onderzoek naar toepasbare kennis steeds meer naar universiteiten?

‘Dat is een interessante vraag. Wat ik met name doe, is de overkoepelende theorie ontwikkelen die toepasbaar is op meerdere systemen. Dus wat minder applicatiespecifiek. Want dat ligt veel meer in handen van de industriële partners.’

Welke adviezen kun je de hightechindustrie geven over het omgaan met onderzoek op de universiteit en hoe ze de door jullie ontwikkelde kennis beter kunnen gebruiken?

‘Dat hangt af van de industrie waarmee je praat. Hoe groot is die industriële partner? Wat is hun kennisniveau? Promovendi doen vier jaar lang onderzoek en daarin heeft iedereen zijn eigen rol. Die promovendus heeft natuurlijk vaak als doel om fundamenteel werk te doen. Op de lange termijn heeft de industrie daar ook wat aan, maar niet op dag één. Dus het is heel verleidelijk om die promovendus heel dicht naar je toe te trekken en doe-klussen te laten doen. Die leveren op de korte termijn natuurlijk wat op. Maar daarmee moet je echt voorzichtig zijn. Want ze moeten natuurlijk wel de vrijheid krijgen om echt ideeën te ontwikkelen. Het ligt aan de partij waarmee je praat. Met name als er nog beperkte kennis is, dan is dat risico er. Aan de andere kant zijn er ook mogelijkheden om mee te doen in een consortium, zoals we bijvoorbeeld recent het Thermal Control Consortium hadden. Dit zijn mogelijkheden voor kleinere partijen om toch baanbrekend onderzoek te doen met een promovendus, samen met een aantal andere bedrijven die een stuk problematiek hebben op een bepaald thema.’

Zie je promovendi naar het buitenland gaan?

‘Helaas beperkt. Ik zeg dat ook weleens tegen mijn internationale

contacten. De aantrekkingskracht van de industrie hier is wat dat betreft zowel een vloek als een zegen. Het is fantastisch hoe we met bedrijven samenwerken in onderzoek, dat er ontzettend veel funding is. Maar banen in de hightech zijn zeer aantrekkelijk, ze hebben problemen die vragen om technologisch hoogstaande oplossingen en ze bieden zekerheid. Dus dat maakt het toch wel een uitdaging om mensen aan je te binden. Op PhD-niveau, maar ook daarna. Een verblijf in het buitenland blijft een avontuur wat iedereen persoonlijk aan moet willen gaan. Het moet ook passen bij de fase van je leven, maar het verandert zeker je blik op de wereld.'

Topbanen

+ International Field engineer

Verbruggen Emmeloord B.V.

Emmeloord

+ Servicemonteur Machinebouw

Havatec BV

Nieuw-Vennep

+ Monteur Machinebouw

Havatec BV

Nieuw-Vennep

+ Monteur

ASML

Veldhoven

+ Accountmanager

Murrelektronik

Regio Zuid-West Nederland



Events

- + System architecting at Additive Industries & TNO ESI
22 maart
Online (gratis)
- + Machine Learning Conference
30 maart
's-Hertogenbosch
- + Empack
5 april - 7 april
Gorinchem
- + Benelux RF Conference – live event
1 juni
Nijmegen

Trainingen

- + Metrology and calibration of mechatronic systems
22 maart
Eindhoven
- + Project leadership
1 april

Eindhoven

+ System architect(ing)

11 april

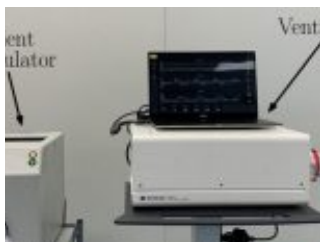
Zwolle

+ Consultative selling for technology professionals

21 april

Eindhoven

Gerelateerd



KORT

NIEUWS
8 FEBRUARI

**Betere
beademing
door
zelflerende
algoritmes
TU**

NIEUWS
17 JANUARI

**Spacex
lanceert
Delftse
mini-
satelliet**

De meest gelezen longreads van 2021

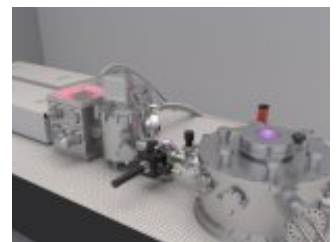


KORT

NIEUWS
3 JANUARI

**De meest
gelezen
longreads
van 2021**

Dit zijn de best



KORT

NIEUWS
17 DECEMBER

**TU Delft
bouwt op
euv
gebaseerde
metrologietoo**

Mechatronica&Machinebouw is het leidinggevende vakblad voor de high-end machine- en systeembouw in Nederland en België.

Mechatronica&Machinebouw informeert over trends en ontwikkelingen in alle belangrijke basistechnieken en technologie, zoals precisietechnologie, materiaalkunde, ontwerptechnologie, systeemintegratie, industriële automatisering, vision, robotica en elektrische en mechanische motion en aandrijftechnologie.

Contact

Techwatch bv
Novio Tech Campus
Transistorweg 7h
6534 AT Nijmegen
The Netherlands
+31 24 3503532
techwatch.nl
info@techwatch.nl

Service

- + Contact
- + Adverteren
- + Nieuwsbrief
- + Lidmaatschap
- + Magazine in print

Onze events

- + Machine Learning Conference
- + Industrial 5G Conference
- + From Idea to Industry
- + System Architecting Conference
- + Software-Centric Systems Conference
- + Digital Twin Conference
- + Benelux RF Conference

Andere sites

- + Bits&Chips
- + High Tech Institute
- + Techwatch Books