



column Jan Beuving

Blij dat het systeem toch klopt, betaal ik mijn boete

Ik heb al zeventien jaar een rijbewijs, maar afgelopen maand kreeg ik voor het eerst een bekeuring. Voor een wiskundige is een bekeuring het begin van het einde. Het zwart-op-witte bewijs dat hij of zij de regels niet gevolgd heeft, en dus af is als wetenschapper. Een persoonlijke nederlaag tegen het systeem. Een nagel aan je doodskist. (Ik zal me bedwingen deze litanie niet 600 woorden vol te houden.)

Ik had te hard gereden. 5 kilometer per uur te hard, wat me op een milde boete van enkele tientjes kwam te staan. Het drama vond plaats ter hoogte van de Zuiderzeeweg in Amsterdam, aan het einde van de Piet Heintunnel. Toepasselijk, want van Amsterdamse vrienden begreep ik dat die flitspaal al jarenlang een zilvervloot binnenhaalt voor de staat. Ik vroeg de foto's op via de site van het CJIB, wat twee ontroerende portretten van mijn grijze auto opleverde, vergezeld van een heerlijke hoeveelheid getallen. Tussen de twee foto's zat een fractie van een seconde, en mijn auto was een stukje verplaatst. Ik heb het nagerekend, en ik kwam inderdaad op 55 kilometer per uur uit.

Voor een wiskundige is een systeemfout nog veel erger dan een persoonlijke fout

In de Piet Heintunnel mag je 70 kilometer per uur rijden, en dat had ik dan ook braaf gedaan. Vlak na de tunnel komt de kruising met de Zuiderzeeweg. Daar mag je maar 50. Het bord dat deze snelheidsvermindering aankaart, staat – bleek na een kwartiertje meten op de satellietfoto's van Google Maps – op ongeveer 50 meter voor de flitskast.

Nu is ieder verkeersbord dat een nieuwe maximumsnelheid aankondigt per definitie verwarrend. Zoals ik ooit heb uitgelegd in een van mijn theaterprogramma's: als je 100 rijdt, en je ziet een bord met 'vanaf hier 120' mag je pas versnellen als je dat bord voorbijrijdt. In de eerste honderd meter na dat bord is het dus onmogelijk om legaal 120 te rijden. Dus dan denk ik: zet dat bord dan 100 meter verder neer.

Bij een snelheidsverlaging

speelt het omgekeerde probleem: je moet wettelijk gezien al remmen vóór het bord. Dat had ik overduidelijk niet gedaan, maar ik was er wel mee bezig blijkens de gemeten snelheid. Nu is het Openbaar Ministerie de beroerdste niet, en hanteert het een coulanceregeling voor automobilisten, die erin voorziet dat je binnen een bepaald aantal meters na een bord niet bekeurd mag worden. Hoeveel meter dat is, hangt af van de snelheid op het bord. Die moet je omrekenen in meters per seconde (ongeveer 14, in mijn geval), en dan vermenigvuldigen met 10. Binnen 140 meter na een 50-bord mag je dus niet bekeurd worden voor een snelheidsovertreding. In Eindhoven zijn zo een keer 11.000 boetes ongeldig verklaard, omdat de paal te dicht op het limietbord stond. Deze coulance is logisch, omdat je nu eenmaal een paar meter nodig hebt om af te remmen.

Er gloorde weer hoop voor Jan-de-wiskundige! Er was een regel die de regel die ik overtreden had, ontregelde! Zo kon ik toch nog regelen dat ik geen financiële strafregels hoefde te schrijven. Ik klom al in de bezwaarschriftten, toen ik me afvroeg: maar als deze paal er al jaren staat, waarom is dan nog niemand op dit lumineuze idee gekomen? Toen bleek er een andere regel te zijn, die zegt dat ingeval van een kruising er binnen de coulanceregelfstand toch geflits mag worden, omdat van een automobilist verwacht mag worden dat hij met veilige snelheid de kruising oprijdt. En toen was ik gek genoeg een soort van opgelucht! Opgelucht, omdat het systeem blijkbaar klopt. Want voor een wiskundige is een systeemfout nog veel erger dan een persoonlijke fout.

Bovendien, bedacht ik: als ik nou een column over dit flitsrekenwerk schrijf, mag ik de boete misschien wel aftrekken van de Belastingdienst. Ik heb het immers gebruikt als inspiratie voor betaald werk. Ik legde dit voor aan mijn accountant, waarbij ik wel even een afweging moest maken omdat haar uurtarief niet mals is. Als ze een kwartier bezig was, zou mijn winst al verdampt zijn. Gelukkig mailde ze binnen een minuut terug: 'De reden dat de boete niet aftrekbaar is, is niet omdat het geen zakelijke kosten zijn, maar omdat je een strafbaar feit hebt begaan. Dat blijft zo, ondanks de column.' Nederig opende ik hierna mijn internetbankieren.

Nanotechnologie interview

Nu zijn slimme machines op grenzen stuiten, werkt de mens aan intelligente materialen.

Het ideaal ligt in de armen van de octopus

tekst Willem Schoonen

Denk aan een kunst-
huid, die niet alleen de goede mechanische eigenschappen heeft om een wond

te dichten, maar ook zelf zijn temperatuur en vochtuithouding kan regelen. Of aan kleding die, afhankelijk van het weer, het lichaam verwarmt of koelt. Dat zijn mogelijke toepassingen van intelligente materialen, materialen die zijn voorzien van kunstmatige intelligentie.

De wetenschap van intelligente materialen is een jong vakgebied. De Twentse hoogleraar Wilfred van der Wiel, een van de leidende onderzoekers in dit veld, publiceerde met enkele collega's uit Münster deze week in vakblad *Nature* een overzicht van de resultaten tot nu toe en de vooruitzichten voor de toekomst. Het is een breed uitzicht: intelligente materialen strekken zich uit van de zachte robotica tot informatica en nanotechnologie, Van der Wiels eigen vakgebied.

Veel van de systemen die hem van pas komen, bouwt de mens uit onderdelen met verschillende functies en vaak van verschillende materialen. Daarmee is hij ver gekomen, maar stuit hij ook op grenzen, bijvoorbeeld in rekenkracht en -snelheid. Van der Wiel: "Machines als de huidige computers raken aan de grens van hun kunnen. Met die conventionele architectuur stuit je op fysische grenzen, bijvoorbeeld in energieverbruik, wat een nijpend probleem wordt. Als we intelligentie

kunnen inbouwen in het materiaal zelf, dan zal dat de rekenkracht spectaculair verhogen en het energieverbruik sterk verminderen."

De overgang van een uit onderdelen opgebouwde computer naar een materiaal dat kan rekenen, is zo groot als de stap van radiobuis naar transistor. Je komt op een heel ander niveau. De onderzoeksgroep van Van der Wiel in Brains – het Center for Brain-Inspired Nano Systems – leverde vorig jaar een voorbeeld af met een netwerk van booratomen in silicium. Een netwerk op atomaire schaal, "waarop we kleine spanningen kunnen zetten en stroompjes kunnen meten", zegt de Twentse hoogleraar. Het minuscule netwerk is te gebruiken voor kunstmatige intelligentie; het kan leren patronen te herkennen, zoals deze letters.

Zelfhelend

Van der Wiel: "Makers van intelligente materialen laten zich inspireren door de natuur om gewenste eigenschappen in materialen te bouwen. Voordeel is bijvoorbeeld dat slimme materialen veel zuiniger zijn dan de machines die we nu hebben. Of denk aan onderhoud: nu moeten we materialen die we hebben gemaakt steeds in de gaten houden om te voorkomen dat ze kapot gaan. Het zou toch nuttig zijn als een materiaal zelfhelend is."

Dat zijn de ingenieursdoelen, zegt Van der Wiel. En daarnaast is er de wetenschappelijk fascinatie: "We willen de materie begrijpen. De wetenschappelijke ontdekkings-
tocht van de mens is begonnen bij de knots: wat kun je daar allemaal mee? En inmiddels zitten we te piekeren hoe we intelligente eigenschappen in materialen kunnen bouwen."

Van der Wiel en zijn collega's hebben voor die wetenschappelijke zoektocht een forse subsidie gekre-

Binnen zes jaar worden materialen ontwikkeld die je daadwerkelijk intelligent zou kunnen noemen

'Nu moeten we steeds checken of de materialen niet stuk gaan; het zou toch handig zijn als ze zelfhelend zijn'





Het grootste deel van het zenuwstelsel van een octopus zit in zijn armen, die kunnen waarnemen, herkennen én onthouden.
FOTO REUTERS

gen. Niet in Nederland, maar in Duitsland. Hij doceert niet alleen aan de Universiteit Twente maar ook aan de universiteit van Münster, vlak over de grens. De twee universiteiten hebben een gezamenlijk onderzoekscentrum opgezet voor intelligente materialen. Daarvoor kwam 10 miljoen euro beschikbaar van de Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), de onderzoeksfinancier van de Duitse overheid, voor de komende vier jaar, met daarna uitzicht op financiering voor nog eens acht jaar.

Lerend vermogen

In het onderzoeksprogramma zullen binnen zes jaar materialen worden ontwikkeld die je werkelijk intelligent zou kunnen noemen, verwacht Van der Wiel. Een algemeen aanvaard definitie van intelligentie is er niet, maar in deze wetenschap wordt een materiaal intelligent genoemd als het informatie tot zich kan nemen, die voor langere tijd kan opslaan en die kennis kan gebruiken om zich aan te passen aan een veranderlijke omgeving.

Zo ver zijn de ontwikkelde materialen nog niet. Er zijn materialen die kunnen reageren op de omgeving, of zich kunnen aanpassen, maar dat zijn nog maar de eerste stappen op weg naar werkelijke materiaal-intelligentie (zie infographic).

De makers van intelligente materialen kunnen voorlopig alleen nog met afgunst kijken naar wat de natuur heeft voortgebracht, bijvoorbeeld in de vorm van het brein. We proberen eigenschappen daarvan over te nemen, zegt Van der Wiel: "De grote kracht van het brein is dat het veel dingen tegelijk kan. Neuronen hebben duizenden verbindingen met elkaar, die heel veel rekenwerk tegelijk kunnen doen. Geen computer kan dat nu."

En het brein kan dat doen met heel weinig energie: "Die efficiëntie danken de hersenen onder meer aan een opbouw waarin het verwerken en het opslaan van informatie op dezelfde plek gebeurt, namelijk in de synapsen, de verbindingen tussen neuronen. Een klassieke computer heeft een rekeneenheid en een geheugen en moet steeds informatie uit het geheugen halen en weer opbergen. Dat vreet energie en tijd."

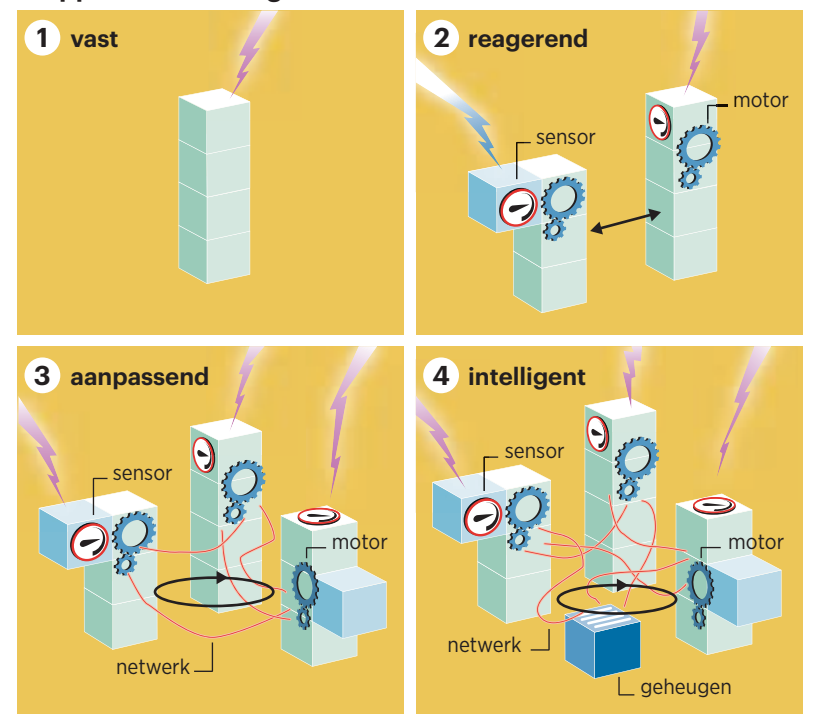
Een derde eigenschap van het brein die wetenschappers in intelligente materialen willen zien te krijgen, is zijn plasticiteit. In het brein worden verbindingen tussen neuronen voortdurend veranderd. Daar dankt het zijn lerend vermogen aan.

Van der Wiel: "Zelfs als we erin slagen om die eigenschappen in materialen te benutten, dan zijn we nog niet bij de cognitieve vermogens, het bewustzijn en de vrije wil van de mens. We zitten dan nog altijd op het allerlaagste niveau van

'Het zou prachtig zijn als we implantaten kunnen maken die meevoelen met het lichaam'

intelligentie. We willen ook geen zelfdenkende wezens creëren, daar hoef je niet bang voor te zijn. We zouden het niet eens kunnen. Maar het zou prachtig als we bijvoorbeeld implantaten kunnen maken die meevoelen met het lichaam, of materialen die na een hersenbeschadiging functies van het brein kunnen overnemen."

Stappen naar intelligente materialen



©TROUW L&F | BRON: NATURE

In vier stappen naar intelligentie

De weg naar intelligente materialen begint bij **een baksteen** (uiterst links), ofwel materialen met een vaste vorm en structuur die, eenmaal gemaakt, niet meer veranderen.

De tweede stap omvat materialen die kunnen reageren op een prikkel uit de omgeving (de rode flits) en daardoor van vorm kunnen veranderen. Een verandering die bovendien omkeerbaar is als er een tegenprikkel komt (de paarse flits). Deze materialen hebben iets van een 'sensor' in zich en iets van een 'motor'. Een voorbeeld zijn materialen die onder invloed van licht krommen en daarna weer strekken. Die kunnen met de juiste lichtflitsen letterlijk vooruitkomen.

Materialen die niet alleen reageren, maar zich ook kunnen aanpassen aan hun omgeving, zijn **de derde stap**. Die hebben, behalve een sensor en motorisch vermogen, ook een netwerk dat hun gedrag stuurt. Zo zijn er microrobots die in patronen kunnen voortbewegen, als een zwerm vogels, omdat ieder robotje zich laat leiden door zijn naaste buur.

In **de vierde en laatste stap** komt daar een langetermijngeheugen bij, waarmee een materiaal zich niet alleen kan aanpassen, maar aanpassingen ook onthoudt en ervan kan leren. Deze intelligente materialen zijn in het lab nog nauwelijks gemaakt. Ze zijn vooralsnog het exclusieve terrein van het leven en komen in de natuur veel voor, bijvoorbeeld in de armen van een octopus.