



# Méér is echt anders

## NWO-thema Dynamica van complexe systemen

De financiële sector die in 2008 ineens in een wereldwijde crisis stortte; de savanne die plotseling verdort tot woestijn; hersenen die ineens schizofreen worden – dit zijn drie ernstige problemen die in complexe systemen kunnen ontstaan. Het NWO-thema Dynamica van complexe systemen gaat vanaf 2010 de krachten van uiteenlopende wetenschappelijke disciplines bundelen om dit soort problemen beter te begrijpen.

tekst Bennie Mols  
foto's Harry Meijer en  
Shutterstock

**W**aar een enkele hersencel weinig meer doet dan wel of niet vuren, produceren honderd miljard hersencellen bij elkaar de meest ingewikkelde menselijke eigenschap: ons bewustzijn. En waar een enkele mier alleen maar een paar eenvoudige, voorgeprogrammeerde gedragsregeltjes volgt, daar bouwt een hele kolonie een nest, graaft ze tunnels, legt ze een vuilnisbelt en een begraafplaats aan zonder dat een stadsplanner met zijn mierenpoot staat te wijzen en te regelen. Dit zijn twee voorbeelden van gedrag op grote schaal (macrogedrag) dat je niet kunt verklaren door alleen naar het gedrag van de kleinste subeenheid te kijken (microgedrag). Dezelfde soort complexe problemen ontstaat bij de interactie tussen enorme aantallen moleculen, druppels, computers, webpagina's of consumenten;

eigenlijk overal waar heel veel elementen op elkaar inwerken. Kenmerkend is steeds dat een complex systeem op collectief niveau 'emergent gedrag' vertoont dat het individuele gedrag ver overstijgt. Emergent gedrag is een spontaan optredend, herkenbaar en benoembaar gedragspatroon dat ontstaat wanneer individuele systemen – bijvoorbeeld mensen, dieren, dingen en een omgeving – met elkaar verbonden zijn. Informaticahoogleraar Maarten van Steen van de Vrije Universiteit Amsterdam is voorzitter van de NWO-themagroep Complexiteit (zie kader). 'Complexiteitsonderzoek gebeurt natuurlijk al veel langer in Nederland', vertelt hij over het hoe en waarom van het NWO-thema, 'maar tot nu toe was er weinig structurele samenwerking. De tijd is rijp om te proberen een langdurige multidisciplinaire

samenwerking te creëren. Dat is het belangrijkste doel van het onder het thema vallende onderzoeksprogramma Complexiteit waarbinnen onderzoekers voorstellen kunnen indienen. Of nu sociologen, informatici, biologen, fysici of economen een complex systeem in hun eigen vak bestuderen, de gebruikte concepten en wiskundige technieken lijken sterk op elkaar en daarom kunnen ze veel van elkaar leren.'

Als voorbeeld dient het al in 1984 opgerichte Santa Fe Instituut in de Amerikaanse staat New Mexico, waar fysici, biologen, informatici en sociale wetenschappers onderzoek naar complexiteit doen. 'Nu is Nederland klein en dus gemakkelijk bereikbaar', zegt Van Steen, 'vandaar dat het hier niet per se nodig is dat alle onderzoekers ook fysiek bij elkaar zitten.'

**VERWOESTIJNING** Welk type onderzoek komt in aanmerking voor financiële ondersteuning binnen het NWO-thema en -programma? Arjen Doelman, onderzoeker van het Centrum Wiskunde & Informatica (CWI), wiskundehoogleraar aan de Universiteit Leiden en vicevoorzitter van de NWO-themagroep Complexiteit, geeft een voorbeeld van een kruisbestuiving tussen ecologie en wiskunde: 'Aan de rand van woestijnen zie je soms een soort streepjespatroon ontstaan waarin clusters van tientallen meters planten worden afgewisseld met stukken woestijn. De regenval en het graasgedrag van rondlopend vee bepalen grotendeels het ontstaan van dat patroon. Het probleem is dat het

systeem plotseling kan omslaan waardoor een stuk savanne ineens woestijn wordt. En na die omslag keert de savanne niet een-twee-drie terug. Deze verwoestiging is wereldwijd een serieus probleem. Ecoloog Max Rietkerk van de Universiteit Utrecht onderzoekt dit soort patronen en ik probeer met mijn wiskundige achtergrond bij te dragen aan het kwantitatief modelleren van dit probleem.'

Complexe systemen zijn berucht door de moeilijkheid om te voorspellen wat er gebeurt

Een andere mogelijke onderzoeksvraag combineert informatica en sociologie: Hoe moet je sociale netwerksites, vergelijkbaar met Facebook of Hyves, ontwerpen zodat je informatie zo efficiënt mogelijk bij gelijkgestemden brengt? Om die vraag op te lossen, moet je begrijpen hoe mensen elkaar online opzoeken, hoe ze informatie willen verspreiden en hoe je een netwerk van aan elkaar gekoppelde computers kwantitatief kunt beschrijven. Het begrijpen van hoe macrogedrag uit microgedrag ontstaat, is het eerste onderzoeksthema. 'Tot nu toe is veel complexiteitsonderzoek vooral beschrijvend geweest', meent Van Steen. 'Wij proberen met het nieuwe complexiteitsprogramma voorbij de fase van het waarnemen te gaan en te



streven naar betere modelbeschrijvingen en voorspellingen. Interessant is dat, hoewel wij mensen zelf het internet hebben gemaakt, het een hele tijd heeft geduurd eer we begonnen te begrijpen hoe netwerken zich daar vormen.'

**KLEINE WERELD** Het modelleren van complexe systemen als netwerken van met elkaar verbonden eenheden vormt een tweede belangrijk thema binnen het complexiteitsonderzoek. Een interessant fenomeen is dat van de 'kleine wereld'. In een kleinwereldnetwerk treedt een hoge mate van clustering op, een soort klikjesvorming. Voor je eigen sociale omgeving betekent dat bijvoorbeeld dat mensen die jij kent, elkaar in de praktijk vaak ook al blijken te kennen. In zo'n kleinwereldnetwerk is het gemiddelde aantal handdrukken dat je spreekwoordelijk verwijderd bent van een willekeurige andere persoon relatief klein. Dit fenomeen duikt niet alleen op in sociale netwerken, maar ook in biologische en computernetwerken, wat meteen het belang aantoont van interdisciplinaire samenwerking.

## DYNAMICA VAN COMPLEXE SYSTEMEN

NWO heeft zeven miljoen euro beschikbaar gesteld voor multidisciplinair onderzoek binnen het thema Dynamica van complexe systemen. De voorbereidende themagroep (onder leiding van het gebied Exacte Wetenschappen) heeft drie overkoepelende onderzoeksthema's geformuleerd op grond van hun wetenschappelijke relevantie en de mogelijkheden om hierbinnen ook echt doorbraken te bereiken: Micro-Macro, Netwerken en Voorspelbaarheid.

Vanaf 1 oktober tot 1 december 2009 kunnen onderzoekers voorstellen indienen voor de subsidieronde van het programma Complexiteit binnen het thema. Alle voorstellen moeten een multidisciplinair karakter hebben. Een onafhankelijke commissie van buitenlandse experts zal de voorstellen in 2010 beoordelen. Het wetenschappelijke onderzoek staat dan ruwweg gepland voor de periode eind 2010 tot eind 2014. In totaal zullen meer dan honderd onderzoekers betrokken zijn, onder wie een dertigtal promovendi.

Een belangrijk doel van het complexiteitsprogramma is het tot stand brengen van een structurele multidisciplinaire samenwerking binnen het complexiteitsonderzoek. Een van de andere doelen is het verkleinen van de afstand tussen de universiteiten en het bedrijfsleven. NWO heeft uiteenlopende bedrijven gestimuleerd om samen met universitaire onderzoekers voorstellen in te dienen. Momenteel doen vijf bedrijven mee: De Nederlandsche Bank (DNB), Equens (een van de grootste bedrijven in Europa voor de afhandeling van elektronisch betalingsverkeer), de Nederlandse Spoorwegen (NS), Cordys (softwareontwikkelaar) en Chess (elektronica- en IT-bedrijf).

Jaarlijks zal NWO workshops en conferenties organiseren om het contact tussen onderzoekers en gebruikers te bevorderen. Verder zal een onderwijsprogramma promovendi van uiteenlopende disciplines bij elkaar brengen.

Meer informatie: [www.nwo.nl/complexity](http://www.nwo.nl/complexity)



Een tweede fenomeen dat vaak in de praktijk opduikt, is een schaalvrij netwerk. Dat is een netwerk dat er hetzelfde uitziet op verschillende lengteschalen waarop je het bekijkt. Je kunt het internet zien als een netwerk van een heleboel websites die met elkaar verbonden zijn. Kijk je naar het totale internet, dan zie je dat er heel veel websites zijn met weinig verbindingen en relatief weinig websites heel veel verbindingen hebben. Zoom je vervolgens in op een subnetwerk binnen het totale internet, bijvoorbeeld alleen websites in Nederland of alleen websites over complexiteit, dan vind je hetzelfde verschijnsel terug. Naast de overgang van micro- naar macrogedrag en het modelleren van complexe systemen als netwerken, is voorspelbaarheid een derde belangrijk thema binnen het complexiteitsonderzoek. Complexe systemen zijn berucht door de moeilijkheid om te voorspellen wat er gebeurt. Zo kan het weer door een kleine atmosferische verstoring ineens omslaan en alle weersvoorspellingen te kijk zetten. En door al te gemakkelijke kredietverstrekking in de VS kreeg de hele financiële wereld in 2008 ineens de deksel op de neus. Ook willen we weten wat de grenzen zijn van voorspelbaarheid. Hoeveel extra computerkracht we ook zullen krijgen, langer dan twee weken vooruit zullen we het weer nooit betrouwbaar kunnen voorspellen, door de fundamentele voorspelbaarheidshorizon in het weer als complex systeem. Het bepalen van zo'n voorspelbaarheidshorizon levert ook al waardevolle informatie op.



**KREDIETCRISIS VOORKOMEN** De Nederlandsche Bank (DNB) is een van de partners van buiten de universitaire wereld die meedoet in het complexiteitsonderzoek van NWO. 'De kredietcrisis toont aan dat we nog veel te weinig begrijpen van het complexe karakter van de financiële wereld', zegt Job Swank, vicedirecteur Economisch beleid en onderzoek van De Nederlandsche Bank. 'Aan de ene kant zoeken we daarom naar betere modellen die extreme gebeurtenissen zoals de huidige financiële crisis kunnen voorspellen, en aan de andere kant willen we ook weten hoe we een crisis kunnen voorkomen.' Nu zijn economen lang uitgegaan van rationeel handelende agenten zoals particulieren, bedrijven en banken, die vooral het beste voor zichzelf willen. Maar juist bij het optreden van extreme gebeurtenissen speelt irrationeel en zelfs kuddegedrag een grote rol. Als spaarders ineens hun bank niet meer vertrouwen en massaal hun spaargeld gaan ophalen, raakt de bank acuut in grote problemen, ook al was er voor die tijd geen vuiltje aan de lucht voor de bank.

'Omdat fysici en biologen al een stuk verder zijn in het modelleren van complexe systemen, denk ik dat we veel van ze kunnen leren', zegt Swank. 'In die multidisciplinaire samenwerking ligt voor ons de reden om mee te doen aan het Complexiteitsprogramma. Natuurlijk moet je in het begin aan elkaars taal wennen, maar de onderliggende concepten en wiskundige modellen van complexe verschijnselen vertonen veel overeenkomsten.' Niet voor niets blijken kleinwereld- en schaalvrije netwerken in zulke uiteenlopende vakgebieden op te treden.

Wilko Bolt is een van de onderzoekers in de divisie van Swank: 'Met een vijftal mensen willen we gaan kijken of we een waarschuwingssysteem kunnen ontwikkelen waarmee we bij wijze van spreken een stoplicht op groen, oranje of rood kunnen zetten. Ook willen we weten welke schokdempers we kunnen inzetten om extreme gebeurtenissen te voorkomen. Daarvoor moeten we bestuderen welke effecten we met onze instrumenten kunnen bereiken. Dan moet je denken aan instrumenten die we aan banken kunnen opleggen, zoals liquiditeitseisen en kapitaal-eisen, maar ook aan het depositogarantiesysteem, dat ervoor zorgt dat spaarders tot een bepaald bedrag aan spaargeld terugkrijgen, ook al gaat een bank failliet.'

**Juist bij het optreden van extreme gebeurtenissen speelt irrationeel en zelfs kuddegedrag een grote rol**

Een praktisch spin-off van het complexiteitsonderzoek is ook de DNB-stresstest die moet bepalen hoe goed een bank tegen extreme omstandigheden bestand is. Om goede stresstests voor banken te ontwikkelen, moet je begrijpen hoe een complex netwerk van financiële instellingen, consumenten, spaarders, werknemers en werkgevers werkt. In dat begrip valt nog een wereld te winnen. Méér levert in een complex systeem namelijk echt iets anders op, of het nou bewustzijn is, verwoestijning, omvallende banken of panikerende spaarders. ❏