

De Academische Boekengids 36, december 2002, pp. 12-13.

Is de wereld eenvoudiger dan we denken? Bestaat er een verklaring voor zowel grilligheid als regelmaat van de geschiedenis? Twee natuurkundigen doen een heldhaftige poging een universele structuur te vinden die antwoord geeft op de allergrootste vragen.

In 1970 introduceerde de briljante Engelse wiskundige **John Horton Conway** het spel *Life*. Dit spel wordt gespeeld op een oneindig groot schaakbord. Ieder vakje van het schaakbord kan een levende cel bevatten of is leeg. Verder is er een grote klok en bij iedere tik van de klok beschikken drie ijzeren regels over leven of dood: een cel kan spontaan geboren worden als hij precies twee burens heeft; een cel sterft aan pure eenzaamheid als er minder dan twee burens zijn; en een cel gaat ten onder aan overbevolking als er meer dan drie naaste burens zijn.

Sprenkel wat cellen over het schaakbord en laat het spel beginnen. Als door magie komt het bord tot leven, als een kunstmatige biologische kweek in een petrischaaltje. Het lijkt alsof we door de microscoop naar een druppel Hollands slootwater kijken. Allerlei eencelligen krioelen door het beeld.

Bacteriekolonies groeien onverwachts en onstuimig maar verdwijnen ook weer plotsklaps. En er is niet alleen eencellig leven. In Conways universum puffen locomotieven grote stoomwolken uitbrakend door het landschap. Zweefvliegtuigen glijden door het beeld en kunnen in gigantische flipperkasten heen en weer geschoten worden. Het is op deze manier zelfs mogelijk een universele computer te bouwen - een zogenaamde Turing-machine, waarop elk mogelijk computerprogramma dat ooit bedacht is of bedacht zal worden, kan worden afgespeeld. Liefhebbers van de sciencefictionfilm *The Matrix* kunnen zich voorstellen dat zij slechts de illusies waarnemen van een gigantisch computerprogramma dat zich afspeelt in Conways *Game of Life*. En ook deze kunstmatige wereld heeft een schaduwzijde. Er bestaat het equivalent van een atoombom, een perfect regelmatig kristal dat, eenmaal gevormd, onbegrensd groeit en al het leven in één grote ijsvlakte vastvriest.

Toch is Conways universum slechts opgebouwd uit de drie simpele leven-of-dood-regels. Een roman-figuur van Harry Mulisch kan, opgesloten in deze wereld, werkelijk een opzienbarende ontdekking doen als hij Conways drie geboden weet te vinden! Is zo'n sleutel tot het geheim van de wereld slechts voorbehouden aan schrijvers van computercodes of romans? Of is de wereld inderdaad de manifestatie van een aantal eenvoudige onderliggende regels van een kosmisch spel? De theoretisch fysicus Richard Feynman vergeleek de rol van een natuurkundige al met die van een toeschouwer van een schaakspel waarvan de regels (nog) niet bekend zijn.

Soms, heel soms, kan de natuurwetenschap zo'n overkoepelende verklaring bieden - althans in een bepaald deelgebied. Zo gaf Newton ons een deterministisch wereldbeeld. De wetten van de klassieke mechanica bepalen nauwkeurig de ontwikkeling van ieder systeem, van het zonnestelsel tot botsende biljartballen, gegeven de begintoestand van het systeem op een bepaald moment. Darwin verklaarde met zijn evolutietheorie de ongelooflijke diversiteit aan organismen. Sindsdien vindt de dwingende logica van het begrip evolutie - het idee dat spontane variatie gekoppeld aan een natuurlijk selectieproces leidt tot optimale verschijningsvormen - toepassing in vakgebieden die ver van de biologie af staan, zoals de taalkunde en de informatica.

Ook in de wereld van de elementaire deeltjes leeft een diepgevoelde verwachting dat uiteindelijk een elegante wiskundige structuur alle krachten en materie en het ontstaan van ruimte en tijd op het allerkleinste microscopische niveau kan verklaren - misschien wel via de snaartheorie. Maar deze *Theory of Everything* zal noodgedwongen maar een zeer beperkte actieradius hebben. Zo'n theorie van alles doet de naam eigenlijk helemaal geen eer aan en houdt zich uitsluitend bezig met de microscopische beschrijving van de natuur. Zo gauw we de wereld van de elementaire deeltjes verlaten en opstijgen naar het niveau van atomen, moleculen, cellen of organismen, verdwijnt de zeggingskracht van deze 'fundamentele' natuurwetten en nemen andere 'effectieve' beschrijvingen het over, die ieder hun eigen geldigheidsdomein hebben. Daarom is kennis traditioneel geformuleerd in een reeks van elkaar gedeeltelijk overlappende maar logisch onafhankelijke wetenschapsdomeinen.

Maar al deze historische prestaties en ambitieuze onderzoeksprogramma's zijn slechts kinderspel vergeleken bij de ambities van de theorieën beschreven in de hier besproken boeken. In tegenstelling tot een *Theory of Everything* willen deze zich niet bij een enkel vakgebied neerleggen, maar de wereld werkelijk in de volle breedte beschrijven, en ze beweren daar een systematiek in gevonden te hebben die zich uitstrekt van elementaire deeltjes tot het verloop van de wereldgeschiedenis.

De twee boeken zouden trouwens niet méér kunnen verschillen, zowel in toon en omvang, als in persoonlijkheid van de auteur. Eén is een lichtvoetige beschrijving door een jonge wetenschapsjournalist van een actief, breed gedragen maar controversieel wetenschapsgebied; de ander een overrompend en megalomaan werk geschreven door een zelfgekroond wonderkind en selfmade miljonair, die tien jaar in volledig isolement heeft gewerkt aan zijn ideeën. Uiteindelijk schieten beide boeken, alsmede de

theorieën die ze trachten te beschrijven, in mijn ogen ernstig tekort, maar juist dit falen maakt ze zo interessant. Waarin gaan dit soort pogingen uiteindelijk ten onder, en wat kunnen we realistisch wél verwachten?

De mantel van Newton en Einstein

Stephen Wolfram, auteur van het monsterboek *A New Kind of Science*, is vóór alles een ex-wonderkind. Hij schreef als vijftienjarige scholier op de befaamde Engelse Eton kostschool al wetenschappelijke artikelen over elementaire deeltjes. Hij raffelde toen in hoog tempo opleidingen in Oxford en Caltech af en was met eenentwintig jaar als volgroeid wetenschapper werkzaam in het Mekka van de fysica, het Institute for Advanced Study te Princeton, ooit de werkplek van coryfeeën als Einstein, Gödel en Von Neumann. Daar was hij de eerste en jongste ontvanger van de prestigieuze MacArthur-beurs, in de Verenigde Staten bekend als de *genius grant*. Ondertussen had hij een spoor van gebruuskeerde relaties achtergelaten, met personen en organisaties, vaak over intellectueel eigendomsrecht. Ook was het voor intimi duidelijk dat hij niet ongevoelig was voor financiële lokroepingen.

Zijn carrière in Princeton was een succes, ook al hield hij zich niet aan zijn belofte en ging hij iets compleet anders dan deeltjesfysica doen. Hij stortte zich op het nieuwe vakgebied van computersimulaties en op wat nu kunstmatig leven heet. Na deze laatste bewegingen in de academische wereld bezweek Wolfram aan de commerciële verlokkingen en richtte hij zijn eigen softwarebedrijf op dat het wereldwijd zeer succesvolle programma *Mathematica* ontwikkelde - software die zogeheten symbolische manipulaties kan uitvoeren, zeg maar rekenen met x , y en z in plaats van met concrete getallen. Daarbij had hij geen moeite om zijn vroegere collega's een financiële poot uit te draaien, iets wat Wolframs reputatie geen goed heeft gedaan.

Maar nu, na tien jaar in stilte te hebben gewerkt, komt Wolfram met zijn magnum opus naar buiten, zijn eigen theorie van alles. Geen detail van de operatie is over het hoofd gezien, de publiciteit is perfect georkestreerd, en het letterlijk verpletterende boek (1280 pagina's) dat als *vanity press* in eigen beheer wordt uitgegeven, is een onverwachte bestseller in de Verenigde Staten. Het steeg al snel naar de nummer één positie op Amazon.com, zeker gevoed door het smakelijke curriculum vitae van de auteur.

De eerste indrukken voorspellen niet veel goeds. Zo leren we al snel dat de auteur meer dan honderd miljoen toetsen heeft ingedrukt, dat hij meer dan honderd mijl met z'n computermuis heeft afgelegd, dat het boek 2.799.438 lettertekens bevat, en dat de 973 illustraties zulke fijne details bevatten dat ze alleen met speciale druktechnieken konden worden weergegeven. De hyperbolen spatten van de pagina's: alles is even vernieuwend, hoogst creatief en belangwekkend, voor alles en voor iedereen. Als toepassingen worden onder andere genoemd: wiskunde, natuurkunde, biologie, sociale wetenschappen, informatica, filosofie, kunsten en technologie. Wolfram heeft zichzelf al de mantel van Newton en Einstein omgehangen en voorspelt dat binnen tien jaar meer dan 50% van alle wetenschap op zijn principes gebaseerd zal zijn. Zonder enige valse bescheidenheid of ironie is het boek dan ook *A New Kind of Science* getiteld. Het boek draagt alle uiterlijke kenmerken van de crackpot, de amateur die met grote fantasie theorieën van alles bouwt op basis van het getal 137, de platonische lichamen, Oosterse filosofieën of het twaalftoonstelsel. We kunnen ons met W.F. Hermans afvragen of Stephen Wolfram een *wonderkind* of een *total loss* is.

Tweedimensionaal behangpatroon

Wolframs gouden idee is de cellulaire automaat, een begrip dat al op z'n minst teruggaat tot Conways *Game of Life* en daarvoor tot Turing en Von Neumann. Zo'n automaat bestaat bij Wolfram uit een aantal vakjes, vaak in een horizontale rij gelegen en wit of zwart gekleurd. Net als bij Conway hangt de directe toekomst van een individuele cel alleen af van de eigen begintoestand en van die van de linker- en rechterbuurman. Met deze beperking zijn er maar 256 verschillende regels te bedenken. De opeenvolgende toestanden van deze eendimensionale wereld worden als nieuwe rijen boven de eerste weergegeven. En zo, met het verlopen van de tijd, ontrolt zich een tweedimensionaal behangpatroon.

In de werkelijk spectaculair mooie afbeeldingen van het boek wordt duidelijk hoe gevarieerd de uitkomsten kunnen zijn. Met sommige regels gebeurt er helemaal niets of is de uitkomst volledig regelmatig, bijvoorbeeld een perfecte afwisseling van witte en zwarte vakjes als bij een schaakbord. Andere regels geven direct aanleiding tot nietszeggende chaos - het patroon ziet eruit als de ruis op een televisiescherm. Maar ergens tussen orde en chaos, beide saai in hun (on)voorspelbaarheid, liggen regels die een veel rijker verloop kunnen geven, zoals 'regel 110'. Deze cellulaire automaat was het keerpunt in Wolframs leven, en in wezen gaan alle 1280 bladzijden over dit enkele voorbeeld. Automaat 110 produceert patronen van een verrassende complexiteit. Regelmatige patronen wisselen zich af met wanorde. We herkennen sneeuwvlokken, takken met bladeren, rivierdelta's, en al deze structuren vinden plaats op kleine en op grote schaal.

Net zoals bij het spel *Life* doet dit alles erg aan onze eigen omgeving denken en het is begrijpelijk dat Wolfram zijn favoriete automaat als een metafoor voor de werkelijkheid wil zien. Maar Wolfram beperkt zich niet tot voorzichtige en goed onderbouwde toepassingen, zoals de patronen die zich natuurlijk vormen tijdens de geleidelijke groei van een schelp. Nee, hij verwacht dat alle processen van grote complexiteit uiteindelijk beschreven kunnen worden door simpele, onderliggende cellulaire automaten. Uiteindelijk beweert hij dat zelfs ruimte en tijd slechts illusies zijn die worden opgewekt door zo'n automaat.

Dit idee, dat de werkelijkheid kan worden beschreven als een digitale droom, is niet origineel. Wolfram is daarin voorafgegaan door een aantal originele denkers, zoals de cognitief wetenschapper Edward Fredkin, ook een selfmade miljonair en hoogleraar aan onder andere MIT en Boston University. In Fredkins digitale filosofie is alle materie en energie opgebouwd uit pure informatie. Quarks en elektronen bestaan bij hem uit bits, de elementaire eenheid van informatie, de nullen en enen die in een computerchip rondlopen. Ook de fysicus John Wheeler, bedenker van de waterstofbom en zwarte gaten, spreekt van *its from bits* en ziet informatie als de grondstof van ruimte en tijd.

Systematiek van de geschiedenis

In die zin is het jammer dat Wolfram zijn werk in isolement heeft verricht en dat zijn boek daarmee zo los van alles staat. Want het vakgebied van cellulaire automaten is een actief onderzoeksterrein dat gezien moet worden als onderdeel van veel breder gedragen modieuze gebieden, zoals kunstmatig leven en complexe systemen. Dit alles wordt meer recht gedaan in het boek *Ubiquity* van Mark Buchanan. Het is een smakelijke vertelling van de geboorte en recente geschiedenis van een nieuw wetenschapsgebied dat zich begeeft rond de modewoorden complexiteit, 'emergentie' en zelforganisatie. Bij dat laatste denken we dan niet aan een opgeruimd bureau, maar aan de eigenschap van een eenvoudig systeem om, zonder invloed van buitenaf, spontaan een hoogontwikkelde en rijk gestructureerde toestand in stand te houden.

Niet dat bij Buchanan meer bescheidenheid te vinden is. Hij begint met een bekende episode uit de recente geschiedenis. Op 28 juni 1914 is de Oostenrijkse troonopvolger aartshertog Franz Ferdinand op werkbezoek in Serajevo. Zijn chauffeur kiest een verkeerde afslag en brengt de aartshertog oog in oog met de student Gavrilo Princip, die hem en zijn vrouw van dichtbij neerschiet. De dominostenen vallen één voor één en de Eerste Wereldoorlog en alle latere ellende van dien zijn het gevolg. Wat zou er gebeurd zijn als de chauffeur niet deze vergissing had gemaakt? Zou de twintigste eeuw nog steeds zo'n stortvloed van misère gegeven hebben? Licht er een systematiek aan de geschiedenis ten grondslag? Deze belofte doen Buchanan en de zijnen. Favoriet voorbeeld in deze kringen is niet de cellulaire automaat maar de zandhoop. Denk hierbij aan een enorme zandloper die één voor één zandkorreltjes op een grote hoop laat vallen. (In de praktijk bestaan die zandhopen slechts digitaal.) De korreltjes zullen in het algemeen rustig blijven liggen, totdat de helling zo steil wordt dat een lawine ontstaat. De laatste zandkorrel breekt dan de spreekwoordelijke rug van de kameel. Maar wanneer de lawine precies zal plaatsvinden en welke omvang deze zal hebben, is moeilijk te voorspellen. Als we de zandhoop een tijdje volgen, valt de enorme diversiteit aan verschijnselen op, van een paar rollende korreltjes tot aan een werkelijke aardverschuiving. Er zijn lange rustige perioden met alleen kleine schokjes en dan plotseling slaan een of meerdere catastrofes toe.

De systematiek ligt uiteindelijk in de statistiek. Als lange tijd wordt bijgehouden hoeveel lawines van welke omvang er hebben plaatsgevonden, dan blijkt daarin een opvallende regelmaat te schuilen. Hoe kleiner de aardverschuiving is, hoe vaker deze voorkomt. Als we de lawine tweemaal zo groot maken, dan wordt de kans dat deze voorkomt een vaste factor kleiner. Dit verschijnsel, dat technisch een machtswet wordt genoemd, is de signatuur van zelforganisatie. Het betekent dat er verschijnselen zijn van alle soorten en maten, met typisch heel veel kleintjes en een paar groten.

Deze simpele statistiek blijkt overal op te duiken, in de frequentie van aardbevingen en andere rampen, citaties van wetenschappelijke artikelen, bezoek van internetadressen, beurskrachs, zelfs in de rimpelingen van de restanten van de oerknal, waar uiteindelijk alle structuur in het heelal gevormd is. Het verklaart waarom er een miljoen soorten kevers zijn en maar twee soorten olifanten. En de kans op een oorlog wordt vier keer kleiner als het aantal slachtoffers verdubbelt. Net zoals Wolfram gehypnotiseerd is door de eenvoud van zijn cellulaire automaat 110, zo voelt men in het vakgebied van de zelforganisatie dat de zandhoop een diepe les voor ons begrip van alles inhoudt, in het bijzonder de grofkorrelige beschrijving van de geschiedenis.

Het is natuurlijk geen toeval dat juist theoretisch fysici met hun indrukwekkend reductionistische prijzenkast dit soort aanstekelijk optimisme uitstralen. Menig geesteswetenschapper, al dan niet gekweld door *physics envy*, zal de schouders ophalen bij zo'n naïef vooruitgangsgeloof. Hebben immers niet duizenden jaren geschiedenis en wereldliteratuur ons laten inzien dat de wereld oneindig verfijnd en complex is, en daarom onmogelijk samengevat kan worden tot een paar universele regels?

Maar deze laatste neerbuigende houding is evenzeer misleidend. Zoals de vele voorbeelden in deze boeken laten zien, kunnen eenvoudige systemen zeer complex gedrag vertonen, en dat doet helemaal niets af aan de uiteindelijke rijkheid van de verschijningsvorm. Men kan genieten van de tekening van een zeldzame schelp of van de afbeeldingen in Wolframs boek, ook al zijn ze door regel 110 ontworpen. Er zit als het ware genoeg diepte in om een esthetische voldoening te geven. Pas in de statistiek openbaart zich de onderliggende eenvoud en regelmaat.

Toch kunnen we de enorme claims die hier door Wolfram en Buchanan gemaakt worden niet serieus nemen. Niet op a-priori gronden, maar vanwege de details waarin uiteindelijk de teleurstelling ligt verscholen. Wolfram is nergens in staat een systematische analyse te geven van zijn automaten, en zijn voorstellen voor een digitale versie van ruimte en tijd zijn veel te vaag om zelfs als startpunt van een berekening te dienen. De theorie is dan, om met de fysicus Wolfgang Pauli te spreken, *nicht einmal falsch*. Evenzo rust het theoretisch bouwwerk van zelforganisatie slechts op een smalle statistische basis. Er wordt ongelooflijk veel belang toegekend aan schaalinvariantie, terwijl dat juist een van de meest

eenvoudige verschijningsvormen is en eerder een gebrek aan structuur signaleert. Het is dan ook helemaal niet verbazingwekkend dat deze simpelste vorm van statistiek overal opduikt.

Eenvoudige systemen kunnen complex gedrag vertonen, dus moet onze complexe wereld door een eenvoudig systeem beschreven worden. De auteurs lijken niet helemaal aan deze logische fout te ontkomen. Ik heb respect voor de overmoed waarmee deze Don Quichots de windmolens bestormen, gewapend met slechts één idee. Maar de achterblijvende gedachte is toch: *if you have a hammer, everything looks like a nail*.

Robbert Dijkgraaf is hoogleraar wiskunde aan de Universiteit van Amsterdam.

Besproken boeken:

Stephen Wolfram, *A New Kind of Science* (Wolfram Media, 2002).

Mark Buchanan, *Ubiquity. The science of history ... or why the world is simpler than we think* (Crown Publishers, 2001).