

Jaap Molenaar

Biometris

Wageningen Universiteit en Researchcentrum

Postbus 100

6700 AC Wageningen

jaap.molenaar@wur.nl

Oratie

De kracht van wiskun

Vanaf september 2006 is Jaap Molenaar hoogleraar Toegepaste Wiskunde binnen het instituut Biometris van de Universiteit Wageningen. Tot dusver heeft hij altijd gewerkt in de toegepaste analyse, waarbij hij zich sterk maakt voor meer gebruik van wiskundige inzichten in industrie en maatschappij. Zijn onderzoek concentreert zich rond het modelleren van continue fysische processen. In onderstaande oratie beschrijft Jaap Molenaar de overstap van de dode materie naar de levende natuur. Het is een controversiële tekst: zo betoogt hij dat een wiskundig model niet leidt tot begrip van het beschreven fenomeen en trekt hij het evolutiemodel in twijfel. Onze brievenrubriek staat open voor gefundeerde reacties.

Toen ik na de middelbare school een studie moest kiezen, heb ik over veel richtingen nagedacht. Eén richting echter sloot ik bij voorbaat uit: biologie. Dat leek me veel te moeilijk en ongrijpbaar. Maar wat gebeurt er nu? Na me vele jaren met de dode natuur bezig gehouden te hebben, stap ik op rijpere leeftijd toch de wereld van de levende natuur binnen. En dat het echt een andere wereld is, blijkt wel uit het volgende voorval. Toen ik voor het geven van mijn eerste collega mijn fiets stalde aan de Binnenha-

ven, viel mijn oog op een bouwseltje rond een struik pal naast de fietsenstalling. Dichterbij gekomen las ik: "Wespen/Wasps. Niet storen s.v.p./Please, don't disturb. *Vespula germanica* (F.)" Men bleek hier een wespennest te koesteren. Terwijl men overal elders een gifspuit zou hebben ingezet om zo'n nest weg te krijgen, zet men er hier een beschermend hekje omheen. Als dat niet Wageningen is! Ik had het kunnen weten. In Wageningen houdt men van dieren: zie figuur 2. Maar ook — en dat is minder bekend bij de buitenwacht — van wiskunde en statistiek. Met mijn benoeming kom ik te staan in een lange traditie. Reeds een paar jaar voor de 'verheffing' in 1918 van de toenmalige Rijks Hogere Land-, Tuin- en Boschbouwschool tot Landbouwhogeschool was Van Uven hier persoonlijk hoogleraar in — let wel — de zuivere en toegepaste wiskunde tegelijk [1]. In figuur 4 staat Van Uven temidden van het toenmalige hoogerlerencorps. De wiskundelijn werd voortgezet door N.H. Kuiper, B. van Rootselaar en J. Grasman. De statistieklijn laat ik even buiten beschouwing om geen gras weg te maaien voor de voeten van mijn colle-

ga Van Eeuwijk. Opmerkelijk was het abstracte, hoge niveau van het vroegere onderwijs in de wiskunde en de breedte van het onderzoek. Van Uven hobbyde in de relativiteitstheorie, Van Rootselaar was een intuïtionist. Kennelijk was er erg veel vrijheid. Echter, het is mooi om juwelen te willen verkopen, maar dan moeten er ook kopers zijn. In de negentiger jaren, onder mijn directe en zeer gewaardeerde voorganger Grasman veranderde er veel. Men kwam tot de — op zich niet zo opzienbare — conclusie dat de wiskunde in de Wageningse context gedoceed en beoefend diende te worden om te landen bij de doelgroep. Overigens was deze wending landelijk: aan alle universiteiten veranderde toentertijd het wiskundeonderwijs nogal grondig van karakter. Dat had alles te maken met de veranderingen in het vwo-onderwijs. Zelfs studenten met wiskunde als hoofdvak kunnen momenteel niet meer de dictaten lezen die



Figuur 1 Bouwsel ter bescherming van een wespennest



Figuur 2 In Wageningen houdt men van dieren...



Jaap Molenaar

dig modelleren

zo'n twintig jaargeleden algemeen — dus ook door niet-wiskundestudenten — gebruikt werden. Die zijn voor de huidige generaties te abstract van toonzetting. Wat mij betreft, de onder mijn voorganger ingezette lijn om het wiskundeonderzoek en -onderwijs te richten op het modelleren van voor de WUR relevante onderwerpen trek ik graag door. Wiskundig modelleren fascineert me sowieso en, anders dan ik vroeger besepte, er valt fascinerend veel wiskundig te modelleren binnen de levenswetenschappen.

Modelleren bij de konijnen af...

Deze rede heeft als onderwerp de kracht van wiskundig modelleren. Aanvankelijk dacht ik die kracht te illustreren door een flink aantal voorbeelden van wiskundige modellen in de biologie in chronologische volgorde te behandelen. Maar direct al bij het eerste voorbeeld kreeg ik zoveel stof tot overpeinzen dat ik de rest van de geschiedenis maar laat schieten en daarna direct naar het heden en de toekomst spring.

Ik ga nu een aantal aspecten van wiskundig modelleren illustreren aan de hand van een simpel voorbeeld dat alle eerstejaars in de exacte vakken in Nederland voorgeschooteld krijgen, maar dat in Wageningen toch wel speciaal moet landen:

Leonardo van Pisa, ook wel 'Fibonacci' ('Figlio di Bonaccio, zoon van Bonaccio') genoemd, schrijft in 1202: "Iemand plaatst één paar konijnen in een afgesloten gebied. Hoe-

veel paren konijnen zijn er na zekere tijd als we aannemen dat elk paar na twee maanden voor het eerst een nieuw paar werpt en vervolgens iedere maand een paar voortbrengt?"

Wat meteen opvalt zijn de nonsenselementen in de vraagstelling: worden konijnen per paar geboren? Leven konijnen eeuwig? Kennen konijnen geen overbevolking? Fibonacci was dan ook geen konijnenfokker, maar iemand die goed was in rekenen en veel van wiskundige puzzels hield. Hij goot een praktische vraag in dusdanige vorm dat hij er wiskundig wat mee aankon. Dit is nu precies wat wiskundigen in de ogen van andere wetenschappers nogal eens verdacht maakt. Ze wekken de indruk dat als je hun een praktische vraag stelt, ze de werkelijkheid dusdanig vervormen dat ze wel met een antwoord komen, maar op een 'misvormde' vraag. Zie de cartoon in figuur 3.

In feite is dat vervormen onontkoombaar bij het gebruik van wiskundige modellen. Maar de vraag is natuurlijk hoe ver je kunt gaan. Om dat duidelijk te maken moeten we eerst stilstaan bij wat een wiskundig model eigenlijk is. Ik kies voor de volgende omschrijving, die niet gespeend is van enig opendeurghalte:

Een wiskundige model is een beschrijving van een fenomeen in wiskundige taal.

Deze taal zal meestal bestaan uit formules, maar grafieken en plaatjes kunnen ook geweldig helpen. Omdat de meeste fenomenen in het echte leven erg ingewikkeld zijn, is vrij-

wel ieder model een reductie van de werkelijkheid. U herinnert zich dat nog wel van meetkunde op school: de lijnen en punten werden geacht geen 'dikte' te hebben. Vreselijk abstract eigenlijk! Het zette mij op school in ieder geval wel aan het denken waar we eigenlijk mee bezig waren. Fibonacci reduceerde extreem. De belangrijkste vraag in dit verband is altijd of het gebruikte model nog antwoorden geeft die relevant zijn. Dat kan alleen het geval zijn als het model nog essentiële kenmerken van het systeem bevat.

Om de 'kwaliteit' van een model aan te geven zijn er twee zaken van belang. Ik noem



Figuur 3 Wiskundig antwoord op een 'misvormde' vraag



Figuur 4 In 1918 zette Prins Hendrik (midden vooraan in grijze jas) de start van de Landbouwhogeschool luister bij met zijn aanwezigheid.

een model goed als

1. het model de beschikbare waarnemingen goed beschrijft.
2. het model voorspellingen mogelijk maakt die, na verificatie, goed blijken te kloppen.

Natuurlijk zou je 'goed' nog nader moeten specificeren. In dit kader is echter het belangrijkste de opmerking dat de 'voorspelkracht' van een model vele malen zwaarder weegt dan de 'beschrijfkraft'. Laten we ter illustratie eens als data nemen de luchttemperaturen gemiddeld over een jaar en boven land over de gehele aarde in de periode 1850 – 2006, zie figuur 5.

Het is kinderlijk eenvoudig om modellen te vinden die precies deze datapunten gene-

ren. We zouden als model ook de ingetekende trend kunnen nemen, die verkregen is door steeds te middelen over tien opeenvolgende jaren. Allemaal beschrijvende modellen voor deze datareeks. We noemen dit ook wel 'data fitten'. Dit illustreert trouwens en passant een algemene waarheid: er zijn vrijwel altijd meerdere modellen te vinden voor hetzelfde verschijnsel. Ze hebben echter geen van alle voorspelkracht: als er één de gemiddelde temperatuur voor het jaar 2007 goed voorspelt is dat puur toeval. U weet hoe moeilijk het weer enkele dagen vooruit is te voorspellen: dat vereist al modellen waarin enorm veel fysische kennis verwerkt zit en gigantische rekenkracht.

Begrip?

Voor we teruggaan naar Fibonacci en zijn konijnen is een waarschuwing op zijn plaats: Een wiskundig model leidt niet tot begrip van het fenomeen zelf. Ik kies hier voor een extreem standpunt: begrijpen, in de zin van 'doordringen tot het wezen van de zaak', doen we niets. Een mooie gedachte om ons nederig te houden. Als we zeggen dat een model iets 'verklaart', bedoelen we gewoon dat het model voorspelkracht heeft. En als men in wetenschapsfilosofische discussies over 'begrijpen' spreekt, blijkt het niets anders te zijn dan thuis raken in een model [3–4]. Men duidt dan slechts een soort gewenningsproces aan. Bijvoorbeeld, als student slikte ik de uiterst abstracte manier van denken in de quantummechanica voor zoete koek en vond die 'gewoon', terwijl de interpretatie ervan geruime tijd controversieel is geweest [5]. Een ander prachtig voorbeeld vind ik: licht. Licht staat heel dicht bij onze belevingswereld, we koesteren ons graag in het zonlicht. We hebben er met de Maxwell- en de Klein-Gordonvergelijkingen buitengewoon krachtige modellen voor en toch, we kunnen niet zeggen wat het is. Het is met licht net als met liefde: de eerste de beste dichter kan er waarschijnlijk wezenlijker dingen over zeggen dan de wetenschapper. Iets dergelijks geldt ook voor elementaire deeltjes. En aangezien alles daaruit is opgebouwd, geldt het voor alle meetbare zaken in en rond ons. Uiteindelijk blijft alleen de verwondering over.

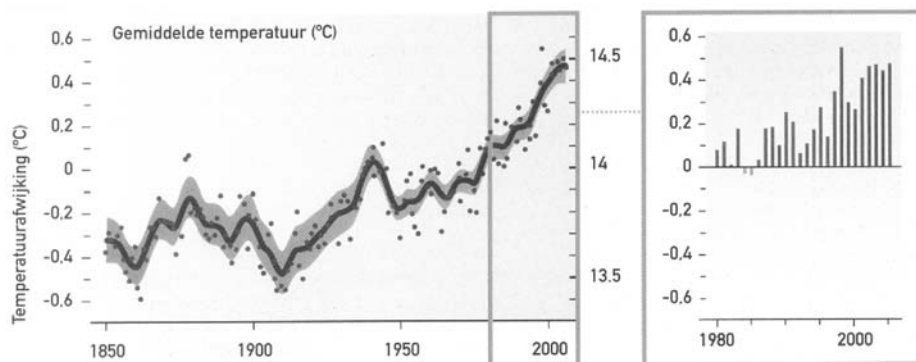
Fibonacci en de explosieve groei

We keren nu terug naar de konijnen. In figuur 7 staat uitgebeeld wat er gebeurt. Op zich is zo'n plaatje al een wiskundig model. Maar meer inzicht krijg ik uit de bijbehorende formule. Ik ben me er overigens bewust van dat voor veel mensen het omgekeerde geldt. Als F_n het aantal paren konijnen voorstelt in jaar n , dan geldt er

$$F_{n+2} = F_{n+1} + F_n.$$

We noemen dit een recursierelatie. Als je de toestand in twee opeenvolgende jaren weet, kun je F_n voor alle volgende jaren uitrekenen. Variëren we bijvoorbeeld F_1 en F_2 , dan krijgen we steeds een andere rij. Ze worden Lucas-rijen genoemd. Als we beginnen met één paar, dan geldt $F_1 = F_2 = 1$ en krijgen we de beroemde rij van Fibonacci:

$$1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, \dots$$



Figuur 5 Gemiddelde luchttemperatuur over de hele aarde; rechts detail

De kracht van de wiskunde komt nu tot uiting in het feit dat we in dit geval, dankzij de lineaire structuur van het probleem, de algemene oplossing van de recursierelatie direct kunnen opschrijven:

$$F_n = c_1(\lambda_1)^n + c_2(\lambda_2)^n,$$

waarin λ_1 en λ_2 gegeven zijn door

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{5} \approx 1.618033988\dots$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{5} \approx -0.618033988\dots$$

De coëfficiënten c_1 en c_2 zijn eenvoudig te berekenen uit de beginaantallen F_1 en F_2 . Als u deze formule even op u laat inwerken zal een gevoel van grote schoonheid u overmeesteren. Waarom? Wel, bedenk dat λ_1 en λ_2 beide irrationale getallen zijn. Zulke getallen hebben achter de komma oneindig veel cijfers die nooit gaan repeteren. In de aangegeven combinatie echter leveren ze F_n op en dat is voor alle n een geheel getal. Maar het wordt nog mooier. Als we kijken hoe de rij zich gedraagt voor heel grote n , dan vinden we

$$F_n \sim c_1(\lambda_1)^n,$$

omdat $(\lambda_2)^n \rightarrow 0$ voor grote n ; λ_2 is immers in absolute waarde kleiner dan 1. De rij gedraagt zich dus voor grote waarden van n 'exponentieel', dat wil zeggen als een macht van zeker grondtal. En dat groeit erg snel.

Even een vraag tussendoor: als Fibonacci nu eens nog extremer had gereduceerd en niet die eerste kinderloze maand had ingevoerd? Dan had onze recursierelatie eruit gezien als $F_{n+1} = 2F_n$. En daar ziet iedereen onmiddellijk de oplossing van. Als iedere maand het aantal paren verdubbelt, geldt er natuurlijk $F_n = 2^n$. Nog steeds exponentiële groei, nu met grondtal 2. Kortom, het enige effect van de kinderloze eerste maand is een verschuiving van het grondtal 2 naar $\lambda_1 = 1,618033988\dots$. In feite zijn dit soort kwalitatieve inzichten de voornaamste lessen die we van dit onrealistische model leren. Overigens, een ervaren modelleur ziet zulke kwalitatieve conclusies al op kilometers afstand aankomen.

Zonnebloemen, de Gulden Snede en de Club van Rome

Hoe onzinnig dat konijnenmodel ook moge zijn, de Fibonaccirij en de constante λ_1 lijken een universele betekenis te hebben. In de natuur duikt de Fibonaccirij op honderd en één plaatsen op. Bijvoorbeeld, bij het tellen van de spiralen die je kunt waarnemen in een zonnebloem. Zie figuur 6.

In de architectuur fungeert λ_1 als de zoge-

naamde 'gulden snede', de verhouding tussen de zijden van een speciale rechthoek die volgens sommigen een volmaakte harmonie uitdrukt. Er zijn hele boeken over deze onderwerpen volgeschreven, maar niet alles is zo algemeen als het voorgespiegeld wordt [6].

Merkwaardig genoeg had het geruchtmakende model van de Club van Rome, dat dateert uit 1972, een hoog konijnengehalte. De rijperen onder u herinneren zich dat nog wel. In hun model namen de experts van deze Club bepaalde relaties aan tussen de veranderingen in grootheden als bevolkingsdichtheid, milieuvervuiling, grondstoffenvoorraad, industrialisatie, enzovoorts [7]. Dit alles op een uiteraard globale, maar zo goed mogelijk verantwoorde manier. Vervolgens rekenen ze uit welke rampen ons op welke termijn zouden gaan treffen als we op de toenmalige voet zouden doorgaan met energiever-spilling, bevolkingsgroei en grondstoffenverbruik. Hoewel het model qua formules vele kantjes beslaat en vol met terugkoppelingen zit, merkte Nobelprijwinnaar Herbert Simon erover op:

“One does not have to run such a model very long on a large computer to conclude that the system will, sooner or later, explode.”[8]

Het werk van de Club van Rome sloeg bij het brede publiek in als een bom en het heeft een bijzonder nuttige bewustwording in gang gezet. Als model had het wel kwalitatieve, maar nauwelijks kwantitatieve voorspelkracht. Ik heb het sterke vermoeden dat iets soortgelijks geldt voor de klimaatmodellen waarvan de uitkomsten momenteel hevig in de belangstelling staan [9–10]. Voor politieke bewustwording en het testen van scenario's zijn ze heel effectief, maar vanwege de onzekerheden in de te modelleren mechanismen is hun kwantitatieve voorspelkracht zeer gering. Dat ligt anders met de modellen die gebruikt worden voor het bepalen van de vangstquota in de visserij. Omdat er inmiddels veel bekend is over de populatiedynamica van de visstand hebben die wel een redelijk grote voorspelkracht. Dat in de praktijk de vangstquota mede sterk bepaald worden op grond van politieke en economische motieven is een andere zaak.

Aggregatieniveau's en natuurwetten

In het universum treffen we uiterst verschillende lengteschalen aan: van de minuscule atomen tot de onvoorstelbaar grote melkwegstelsels. Bij het opstellen van modellen is het uiterst belangrijk je eerst te realiseren op welk 'aggregatieniveau', ook wel 'organisatie-

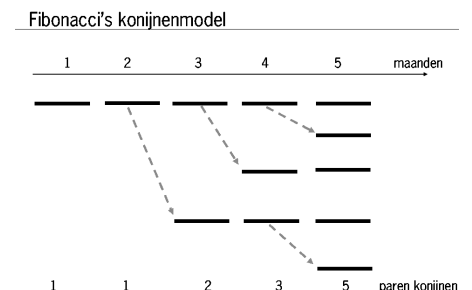


Figuur 6 Voorbeelden in de natuur en de cultuur waarin de rij van Fibonacci en de gulden snede voorkomen

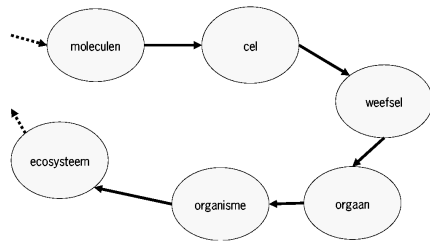
niveau' genoemd, je bezig bent.

Bij ieder niveau hoort een karakteristieke lengteschaal. Als we een model voor een bepaald niveau opstellen, zullen we de effecten van wat er op de lagere niveaus in detail gebeurt op een geïntegreerde manier moeten verdisconteren, anders krijgen we volstrekt onhanteerbare modellen. Bijvoorbeeld, in een model voor de populatiedynamica van konijnen negeren we uiteraard dat ook konijnen uit organen, weefsels, cellen en moleculen bestaan. Ieder niveau heeft zijn eigen grootheden en relaties die voor dat niveau karakteristiek zijn.

Ik ben tot voor kort altijd bezig geweest met modellen voor de dode natuur. Naderkend over wat er ten aanzien van de levende natuur anders is, bemerk ik dat er juist grote overeenkomsten zijn. Ook in de biologie zijn de wetten en inzichten uit de fysica en chemie van kracht. Bijvoorbeeld, een diffusieproces beschrijf je wiskundig altijd op dezelfde manier, of het nu om deeltjes, mensen of konijnen gaat. Dat unificerende aspect draagt sterk bij aan de kracht van wiskundig modelleren.



Figuur 7 Schematische weergave van de konijnenvoortplanting volgens Fibonacci

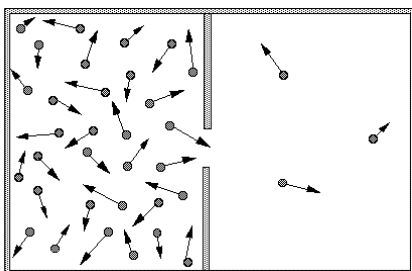


Figuur 8 Aggregatieniveau's levende materie: bij het modelleren is de keuze van het aggregatieniveau heel belangrijk.

Natuurlijke selectie en evolutie

Maar, leven is inherent aan voortplanten. En dan stuiten we toch op een modelleringsaspect dat typisch voor de levende natuur is: de dynamica van populaties wordt mede bepaald door natuurlijke selectie. Dat is een voor de hand liggend concept: als een individu om de een of andere reden, bijvoorbeeld mutatie, afwijkt van de rest en daardoor betere overlevings- en dus voortplantingskansen heeft, zal de frequentie van deze mutante eigenschap in de volgende generaties toenemen.

Sommigen menen dat dit selectieprincipe de sleutel vormt tot de verklaring voor het ontstaan van steeds complexere vormen van leven. Anderen gaan een stapje verder en pomen een model waarin alle leven zoals we dat nu kennen via kleine evolutiestapjes is voortgekomen uit een oersoep. Naar aanleiding van een terloopse opmerking op de weblog van onze vorige Minister van Onderwijs Maria van der Hoeven is er veel discussie gestart over dit model. Ik kan het niet laten hier iets over te zeggen vanuit het standpunt van wiskundig modelleren, vooral omdat populariserende auteurs hier graag over de onderliggende vragen heenstappen. Ik denk dat het verhelderend is eerst te kijken naar een diep inzicht dat we in de dode natuur opgedaan hebben. Iedereen kent de tweede hoofdwet van de thermodynamica: in een afgesloten systeem neemt de entropie nooit af. De entropie is een maat voor de wanorde. Deze wet geldt typisch op het aggregatieniveau van veel-deeltjessystemen. Immers, op het



Figuur 9 Standaardvoorbeeld van entropietoename in de statistische mechanica

niveau van een individueel molecuul is wanorde helemaal niet gedefinieerd. Door sommigen is de tweede hoofdwet ingebracht tegen het evolutiemodel. Dat klopt niet, want deze hoofdwet verbiedt lokale toename van orde niet. Ik heb iets anders op het oog. Gek genoeg kunnen we de vraag stellen: hoe waar is deze tweede hoofdwet? Om dit toe te lichten kijken we even naar het standaardvoorbeeld: deeltjes in een doosje.

We delen een volume in tweeën door middel van een tussenschot en het linker compartiment vullen we met een gas. Als het tussenschot aanwezig is, geldt er een zekere mate van orde: alle gasmoleculen zitten links. Maken we nu een gat in het tussenschot, dan verspreiden de moleculen zich over het gehele volume. De wanorde neemt toe. Een soortgelijk experiment wordt miljoenen keren per dag gedaan. Als u melk in uw thee of koffie giet, constateert u steeds dat de melkmoleculen zich verspreiden over het kopje. Als u roert gebeurt dat snel, als u niet roert ook, maar dan langzaam. Wat is hiervan op een lager aggregatieniveau de beschrijving, oftewel welk wiskundig model op molecuulniveau leidt tot dit gedrag? Op dat lagere niveau zien we deeltjes die kriskras door elkaar bewegen. Een principiële aanname is dat de deeltjes volkomen willekeurig door elkaar bewegen: er is geen *intelligent design* of iets dergelijks bij betrokken. Stel, er zijn N deeltjes en daarvan zitten er op gegeven moment p links. Alle verdelingen zijn in principe mogelijk, dus p kan variëren van 0 tot en met N . Voor iedere waarde van p is dan de bijbehorende kans eenvoudig uit te rekenen door gewoon te tellen op hoeveel manieren we p deeltjes uit een verzameling van N kunnen kiezen. Die kans is enorm scherp gepiekt rond $p = N/2$. De kans dat p flink afwijkt van $N/2$ en er dus ontmenging optreedt is niet nul, maar wel ontzettend klein vergeleken met de kans dat $p = N/2$. Bijvoorbeeld, de verhouding tussen de kans op $p = N$ (alle deeltjes links) en de kans op $p = N/2$ (evenveel deeltjes rechts als links) wordt gegeven door $2^{(-N)}$ en neemt dus exponentieel af met het aantal deeltjes N . Aangezien $N \sim 10^{23}$, is dit een onvoorstelbaar klein getal.

Al zou u pakweg zo'n 13,7 miljard jaar in uw kopje koffie of thee kunnen staren, u heeft geen schijn van kans om ook maar het begin van ontmenging te ontwaren gedurende een picoseconde. Die kans is, hoewel niet nul, zo klein dat we de tweede hoofdwet toch maar de status van 'Wet' gegeven hebben.

En nu naar het model met die kleine evolutiestapjes. In dat model is er de aanname,

net als bij de deeltjes in een doosje, dat de veranderingen door toevallige mutaties oftewel 'blind toeval' tot stand komen. De kans op een 'gunstig' evolutiestapje is in het algemeen klein. De kans dat het leven zoals wij dat kennen door middel van een gigantische serie van die stapjes is ontstaan, is waarschijnlijk nog kleiner dan de kans dat de melk in uw koffie ontmengt, hoewel niemand er precies een getal aan kan hangen. Hoewel een kans die niet nul is zich kan realiseren, zit er voor mijn gevoel iets dubbels in om wel de tweede hoofdwet als wet te aanvaarden, en tevens klakkeloos het leven als een 'onmogelijke mogelijkheid' te accepteren. Daar komt nog bij dat er vragen te stellen zijn bij de 'beschrijfkraft' van het evolutiemodel en dat het zeker geen 'voorspelkraft' heeft: ik zou niet weten wat het voor de toekomst van het leven voorspelt.

Ik vermoed dat een bekende voorvechter van dit model als Richard Dawkins dit soort overwegingen ook heel goed beseft. Desondanks weerhoudt het hem niet dit model welsprekend en fanatiek te promoten [11–13]. Het lijkt voor hem wel een geloofszaak te zijn. Voor mij is het ook een geloofsstap te belijden dat ik geloof in God als Schepper van het leven, maar ik zeg er tenminste expliciet bij dat het geen wetenschappelijke uitspraak is.

Discussies over de evolutietheorie verliezen zich vrijwel altijd in specifieke voorbeelden. Een interessante poging om algemene argumenten aan te dragen die binnen het wetenschappelijke domein blijven komt van William Dembski. In zijn boek *No free lunch* [14] probeert hij een solide wiskundige basis te verschaffen aan het idee dat zeer complexe systemen, zoals bijvoorbeeld het leven, een 'onherleidbare complexiteit' kunnen bezitten, wat betekent dat ze nooit door toevalsprocessen tot stand kunnen gekomen zijn. Zijn poging heeft schipbreuk geleden [15]. Echter, ik acht het toch niet onmogelijk dat een dergelijke stelling inderdaad bewezen kan worden. Het zou een inzicht opleveren van dezelfde verrassendheid en diepgang als de onvolledigheidsstelling van Gödel en de onvoorspelbaarheid van chaotische systemen. Aardig als juist de wiskunde, een discipline die in deze discussies toch een beetje aan de zijlijn staat, een fundamentele bijdrage aan dit debat zou kunnen leveren.

Toekomstplannen

Mijn eerste jaar in Wageningen was er één van veel organiseren en relatief weinig onderzoek en onderwijs. Nu ik ingewerkt ben is het de uitdaging een bevredigende balans te vin-

den. Wat betreft het onderwijs merk ik op dat het bijzonder jammer is dat we door een tekort aan contacturen in het lagerejaaronderwijs de diepere doorkijkjes in de wiskunde wel kunnen aanstippen, maar de reikwijdte en schoonheid ervan nauwelijks kunnen overdragen. Speciaal punt van zorg is de aansluiting met het vwo. Nu het abstractie- en rekenvaardigheidsniveau van de binnenkomende studenten nog meer zal gaan dalen door de recente ‘verarming’ van het vwo-curriculum wat betreft wiskunde, moeten wij nog meer aandacht besteden aan de aansluiting. Bijvoorbeeld, de verwachting is dat Wiskunde T, de ‘zware’ variant van ons basisonderwijs, flink bijgesteld zal moeten worden. Dat is des te urgenter nu het belang van kwantitatieve methoden in vrijwel alle Wageningse richtingen alleen maar groter wordt. U begrijpt, nu de Biologieopleiding geherstructureerd wordt hebben we al aangegeven dat we graag participeren in cursussen over wiskundige modellen en methoden. Ik beschouw het als een van de belangrijke doelstellingen van Biometris om meer te gaan bijdragen aan het hogerejaars Bacheloronderwijs en aan de MSc- en PhD-cursussen. Eén van onze idealen, alleen in nauwe samenwerking met de andere collega’s te realiseren, is bijvoorbeeld het starten van een interdisciplinaire masteropleiding met als mogelijke naam *Quantitative methods for the Life Sciences*. Een dergelijke afstudeerrichting zou de kandidaten op een degelijke wijze toerusten voor bijvoorbeeld een aio-schap in de richting van de Systeembioogie.

Wat betreft onderzoek merk ik op dat mijn vorige oratie onder andere over de modellering van visco-elastische stoffen ging. De expertise die ik daarin inmiddels heb opgedaan hoop ik ook hier goed toe te kunnen passen. De gluten in ons brood bijvoorbeeld gedragen zich typisch visco-elastisch. In samenwerking met het TIFN en de groep levensmiddelenproceskunde is een voorstel in voorbereiding over het modelleren van deegkneden.

Systeembioogie

Een voor mij nieuwe richting is de Systeembioogie. Binnen WUR waren er voor mijn komst al vele discussies geweest hoe dit onderwerp aandacht te geven. Zo dat vakgebied ergens kan bloeien, dan is dat toch wel in Wageningen. Al snel ben ik als trekker van het IP/OP thema Systeembioogie bij de uitwerking ervan nauw betrokken geraakt. Aardig om in dit verband eerst even een citaat uit een column van onze huidige Minister van Onderwijs te geven:

“Er waart een ziekte door de wetenschap. Die ziekte heet systeembioogie. Vooral oudere mannen lijken gevoelig...”

Vervolgens betoogt Ronald Plasterk dat systeembioogie niets nieuws is en vooral gepusht wordt door “mediocre wetenschappers, die nooit een serieus wetenschappelijk probleem hebben opgelost, en nu proberen via organisatorische activiteit belangrijk te worden” [16]. Dit gepruttel heeft niet verhinderd dat het vakgebied een vrij explosieve groei aan het doormaken is. In het buitenland zijn er reeds grote gespecialiseerde groepen voor in het leven geroepen. In Nederland gaat het wat langzamer, maar volgt men ook. Zo streven we naar de oprichting van het Wageningen Centrum voor Systeembioogie (WCSB), waarin we al onze inspanningen op dit gebied gaan bundelen.

Wat is Systeembioogie eigenlijk? Ik kan dit hier alleen aanstippen; de echte kenners zitten in de zaal. De term zelf is erg ongelukkig gekozen. In feite gaat het om de aloude vraag de fundamentele levensprocessen te modelleren. Inzoverre heeft Plasterk gelijk, dat wilde de biologie altijd al. Die processen overspannen een groot aantal aggregatieniveaus. Aan de ene kant hebben we het genotype, oftewel de informatie opgeslagen op het DNA, het onnoemelijk lange molecuul met de welbekende helixstructuur:



Figuur 10 Schematische weergave van de dubbele helixstructuur van DNA

Die structuur kunnen we tegenwoordig prima meten. Het DNA wordt voortdurend afgelezen — op zich al een uiterst vernuftig mechanisme — en dat leidt tot de aanmaak van onder andere eiwitten. Aan de andere kant hebben we het fenotype, oftewel de eigenschappen die openbaar komen tijdens de ontwikkeling. Uw blauwe of bruine ogen bijvoorbeeld. En dan laat ik de neurobiologie nog maar even buiten beschouwing. Als een beginneling in de biologie als ik erover gaat nadenken hoe je nu

ooit de afstand kunt overbruggen tussen deze puur chemische afleesmechanismen en iets als bewustzijn en bijvoorbeeld de gedachten die momenteel in uw hoofd omgaan, dan zou je kunnen gaan huiveren en spontaan stoppen met de hele onderneming. Is dit geen hybride? Maar goed, alles went. Zelfs wetenschappers staan bloot aan afstomping.

Het gedetailleerd modelleren van wat er allemaal gebeurt op de aggregatieniveaus tussen geno- en fenotype is ondenkbaar, hoewel er natuurlijk wel deelsystemen goed bekend zijn. Zelfs als we ons tot de cel en zijn directe omgeving beperken, is er nog bijzonder veel onbekend. De afleesprocedures van het DNA bijvoorbeeld vormen een gigantisch teruggekoppeld systeem. Een aangemaakt eiwit kan de aanmaak van hetzelfde of een ander eiwit versnellen of vertragen. Men geeft dit gewoonlijk weer met een netwerk, waarin de knooppunten de betrokken stoffen voorstellen en de pijlen aangeven of twee stoffen elkaars aanmaak beïnvloeden. Zie bijvoorbeeld een schema als:



Figuur 11 Netwerk van transcriptiefactoren in E. Coli

En ondertussen treden er allerlei andere reacties op. Vrijwel alle mechanismen in de cel zijn gevoelig voor omgevingsinvloeden. De temperatuur en de zuurtegraad zijn zulke beïnvloedingsfactoren. En een stofje dat door de celwand naar binnen komt kan een hele keten van reacties aan de gang brengen. Er dringt zich een vergelijking op met een aloude inzicht uit de pedagogie:

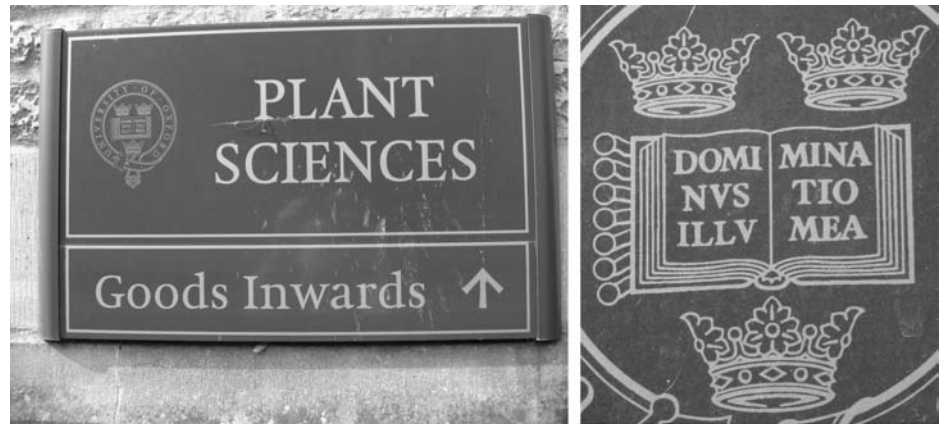
Het resultaat is een samenspel tussen ‘nature’ en ‘nurture’, oftewel tussen aanleg en omgevingsinvloeden.

Een deelideaal van de Systeembioogie is de ‘virtuele cel’. Dat is een wiskundig model waarin alle mechanismen binnen de cel verwerkt zitten tezamen met hun afhankelijkheid van de fysiologische parameters. Gegeven het DNA zou je daarmee de respons van de cel kunnen berekenen. Laten we eerlijk zijn: dit geldt nu nog als toekomstmuziek. Hoe is men ertoe gekomen te denken dat hier iets te bereiken valt? De reden is heel duidelijk: dat zijn

de gigantisch toegenomen mogelijkheden om data te vergaren over het DNA en de andere stoffen die op een bepaald moment in een cel aanwezig zijn. Maar pas op, dit kan wel tot verkeerde verwachtingen leiden. Men denkt dan bijvoorbeeld: we laten op die enorme datasets geavanceerde wiskundige methoden los en als vanzelf rolt daaruit wat er precies gebeurt in de cel. Voor je het weet ben je dan slechts bezig met 'data fitten' en, zoals boven al eens gezegd, dat leidt niet tot enige voorspelkracht. Het in kaart brengen van een specifieke netwerkstructuur eist veel expertkennis en zorgvuldig geplande metingen. Vervolgens, het schatten van de parameters die de interacties karakteriseren is wiskundig gezien een geweldige uitdaging. Kennis van zowel statistische schattingstechnieken als van differentiaalvergelijkingen kunnen hier uitstekend gecombineerd worden, en het is dit terrein waarop ik, in samenwerking met vele collega's binnen en buiten Biometris, mijn aandacht zou willen richten. Voor het moment laat ik het hierbij. In mijn afscheidsrede hoop ik u te kunnen uitleggen hoe het nu precies zit met die Systeembioogie.

Tenslotte

Zoals velen zich zullen herinneren vormde in



Figuur 12 Links: gevelplaat van de Plant Sciences Group van Oxford University; rechts: detail

mijn vorige oratie de 'Mathematical Bridge' in Cambridge de rode draad. Als je zo'n traditie start moet je hem volhouden. Recent liep ik rond in Oxford, dat andere Engelse eerbiedwaardige centrum van wetenschap. Mijn oog viel op het bord links, en het deed me wat. Voor de niet-ingewijden: Biometris is in de WUR-structuur onderdeel van de Plant Sciences Group. Een jaar lang meedraaien in die plantenwereld laat je kennelijk niet onberoerd. De planning is dat we ook fysiek bij elkaar komen te zitten in nieuwbouw genaamd Radix. De symboliek is aardig: radix betekent

de 'wortel' in wiskundige zin, maar staat ook voor de 'wortel' van een plant. Maar waarom vind ik dat bord in Oxford nu zo'n mooi besluit van mijn oratie? Vanwege het logo met de tekst:

Dominus Illuminatio mea, oftewel: De Heer is mijn Licht.

Dat drukt precies uit hoe ik op deze leerstoel bezig wil zijn; op een voluit wetenschappelijke wijze en in het besef dat juist daarbij Gods leiding nodig is. Een oude traditie dus. ↩

Referenties

- J. van der Haar, *De geschiedenis van de Landbouwniversiteit Wageningen, deel 1: 1873 – 1945*, ISBN 90-6754-261-X, LUW, 1993
- Leonardi van Pisa (of 'Fibonacci'): *Liber Abaci*, Chapter XII, 1202.
- H.W. de Regt en D. Dieks, 'A contextual approach to scientific understanding', *Synthese*, 144, pp 137-170, 2004.
- W.C. Salmon, *Causality and explanation*, Oxford University Press, ISBN 9780195108644, 1998
- J.T. Cushing, *Quantum mechanics, Historical contingency and the Copenhagen hegemony*, University of Chicago Press, 1994.
- Zie bijvoorbeeld de site www.lhup.edu/~dsimanek/pseudo/fibonacc.htm voor een cynische beschouwing over het magisch voorkomen van de gulden snede.
- D.H. Meadows, J. Randers, D.L. Meadows, *Limits to growth; The 30-Year Update*, ISBN 1-93-1498199, 2002.
- H. Simon, *IASA Conference on Perspectives and Futures*, June 14-15, 1988
- M. Crok en T. Jaarsma, 'Mist in kristallen bol', *Natuurwetenschap&Techniek*, Maart 2007
- M. Crok, A. Jaspers, E. Vermeulen, 'Doemsce-nario's', *Natuurwetenschap&Techniek*, Mei, 2007
- R. Dawkins, *The blind watchmaker*, London: Longman, ISBN 0-58-2446945, 1986.
- R. Dawkins, *The God delusion*, ISBN 0-59-3055489, 2006
- A. McGrath, *Dawkins' God: Genes, Memes, and the Meaning of Life*, ISBN 1-405125-38-1, 2007
- W.A. Dembski, *No free lunch*, Rowman and Littlefield Publishers Inc., ISBN 0-7425-1297-5, 2002
- O. Häggström, 'Intelligent Design and the NFL Theorems', *Biology and Philosophy* 22 (2007), pp 217-230.
- R. Plasterk, *Bionieuws* 16, 26-09-2003.