



Universiteit
Leiden

The Netherlands

Wetenschap als kinderspel

Portegies Zwart, S.F.

Citation

Portegies Zwart, S. F. (2010). *Wetenschap als kinderspel*. Leiden: Universiteit Leiden. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/19580>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Leiden University Non-exclusive license](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/19580>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Prof. dr. Simon F. Portegies Zwart

Wetenschap als kinderspel



Universiteit Leiden

Wetenschap als kinderspel

Rede uitgesproken door

Prof. dr. Simon F. Portegies Zwart

bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar in de

Numerieke Sterdynamica

aan de Sterrewacht van de Universiteit Leiden

op vrijdag 29 Januari 2010.



Universiteit Leiden



Kadelion, op de schouders van Orion, de grote jager die wordt verblind door de opkomende zon. Nicolas Poussin op doek, 1658.

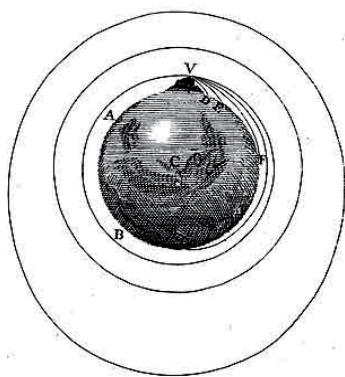
De titel verwijst naar referentie 1.¹

De foto op de achterflap is gemaakt door Joeri van Leeuwen na afloop van de Oratie.

Mijnheer de Rector Magnificus, hooggeachte collega's, zeer gewaardeerde toehoorders, lieve Merei,

Op 5 juli 1687 publiceerde Sir Isaac Newton de *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*², een boek waarin hij een beschrijving gaf van zwaartekracht. Vanaf die dag zag de wereld er anders uit; de maan werd veroordeeld tot een eeuwig durende vrije val om de aarde, zonder haar ooit te raken. De aarde en maan zouden volgens deze theorie precies even hard aan elkaar trekken, met de getijden tot gevolg. Eb en vloed, zo realiseerde Newton zich, zijn het gevolg van de aantrekking tussen aarde en maan.

Mogelijk een van de meest bizarre eigenschappen van zwaartekracht is dat alles met alles in contact staat, ongeacht de afstand. Ieder atoom in de aarde trekt aan ieder ander atoom in de aarde, en aan ieder atoom in de Maan, en in Mars, en zelfs in Neptunus et cetera; zwaartekracht reikt tot de meest afgelegen sterren en planeten; ieder deeltje, ja werkelijk alles in het heelal staat onderling in contact via de zwaartekracht.



Illustratie uit Newton's Principia² ter verduidelijking van de zwaartekracht.

In tegenstelling tot andere krachten heeft zwaartekracht de eigenaardige eigenschap om gestaag sterker te worden naarmate er meer massa is. Mede hierdoor en door het gebrek aan een afstotende werking wordt uiteindelijk het hele Universum gedomineerd door zwaartekracht, terwijl op die schaal bijvoorbeeld de elektromagnetische kracht, die 100 sextiljoen^{*} keer sterker is dan zwaartekracht, geen rol van betekenis speelt.

Newton was zowel een empirisch wetenschapper als een

theoretiserend geleerde. Hij bestudeerde de natuur door middel van observaties, maar tegelijkertijd probeerde hij een algemeen geldende beschrijving te geven van het gedrag dat hij waarnam onder verschillende omstandigheden. Op deze wijze probeerde hij wetmatigheden in zijn omgeving te ontdekken. Dergelijke wetmatigheden kunnen vervolgens worden gebruikt om te voorspellen wat er onder vergelijkbare omstandigheden maar binnen een heel ander kader zou kunnen gebeuren.

En passant bedacht Newton de infinitesimaalrekening (een verzamelterm voor differentiaalrekening en integraalrekening), niet omdat hij het leuk vond, maar omdat hij deze nodig had bij het uitrekenen van zijn analytische vergelijkingen. Vandaag de dag zou Newton als een interdisciplinair onderzoeker worden getypeerd, die zich op het grensvlak begeeft tussen de sterrenkunde, de natuurkunde en de wiskunde. Maar Newton was een opportunist. Op het moment dat hij de infinitesimaalrekening nodig had, vond hij hem uit. Ook tegenwoordig wordt goed onderzoek gekenmerkt door deze eigenschap. Niet door van buitenaf gedwongen interdisciplinariteit, maar door subjectief opportunisme. Eigenlijk heel anders dat de manier waarop NWO vandaag aan kijkt tegen interdisciplinariteit. Volgens NWO betekent het dat je moet samenwerken met je buurman in wetenschappelijke en fysieke zin, terwijl men in de praktijk liever kiest voor een geëmigreerde wetenschappelijke tweelingbroer.

Volgens moderne maatstaven is onderzoek 'beter' als het verschillende vakgebieden omvat, en dus het 'eigen' vakgebied overschrijdt. NWO denkt dit 'interdisciplinaire onderzoek' te stimuleren door specifiek geld beschikbaar te stellen voor 'monodiscipline overschrijdend onderzoek'. Interdisciplinariteit is de moderne mode trend van hedendaags onderzoek. Ten onrechte, want iedere onderzoeker zal een eigen 'niche' proberen te vinden waarbinnen het onderzoek succesvol gefinancierd kan worden, en waarin de onderzoeker een internationaal postuur kan realiseren. Onderzoekers willen erkenning voor wat zij doen, en hiervoor zijn zowel financiering als collega's op hetzelfde vakgebied nodig. Op een geïsoleerde 'niche', hoe interdisciplinair ook, zit niemand op te wachten.

^{*} Een sextiljoen wordt geschreven als een 1 met 36 nullen, of 1000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.

Een andere modetrend is het toepasbaar maken van wetenschap, die utilisatie genoemd wordt. Deze utilisatie brengt veel schade toe aan zuiver wetenschappelijk onderzoek, doordat financiering hierdoor gestoken wordt in kort lopende en snel resultaten opleverend onderzoek. Eigenlijk niet veel anders dan in het huidige bankwezen: snelle winst is beter dan een stabiele omgeving met gestage voortgang. NASA heeft enige tijd de kreet “Faster, Better, Cheaper” gebezigd, maar op 13 maart 2000, tien jaar na het lanceren van de kreet, publiceerde NASA het rapport “*Too Many Failures with Faster, Better, Cheaper*”.⁴ Binnen NASA was duidelijk geworden dat wetenschap niet voor een dubbelte tegelijkertijd snel en goed kan gebeuren. Wat binnen NASA met een “honorable failure” werd aangege-
 4
 duid, kan beter worden getypeerd als een Flater van formaat, naar de gelijknamige, maar in de Verenigde Staten onbekende stripheld.^{3,**}



Guust Flater³

Wetenschap moet het niet hebben van mode, maar van een stabiele basis waarin briljante zonderlingen de kans krijgen uit te blinken door ze ongemoeid te laten. Wetenschappers classificeren graag in hokjes, maar het denkproces van een wetenschapper beschrijf ik liever met “vrije uitloop denken” of “scharreldenken”, waarbij impliciete ingevingen en intuïtie een belangrijke rol spelen. Of zoals Carl Friedrich Gauss het beschreef: “*Wie der Blitz einschlägt, hat sich das Räthsel gelöst*”,⁵ niet veel anders dan Newton’s spreekwoordelijke appel, die de aanzet zou hebben gegeven voor zijn beschrijving van de zwaartekracht. In het huidige wetenschappelijke klimaat is niet veel ruimte voor scharreldenkers; onderzoekvoortgang moet gedetailleerd, liefst per maand, worden gepland en grote langlopende projecten worden vermeden omdat de financiering berust op door collega’s geaccepteerde einddoelen. De geldverdelende rol van NWO gaat hierdoor steeds meer op een

loterij lijken, en dit wordt mede veroorzaakt door de inflatie die optreedt in de manier waarin collega’s elkaar beoordelen.

Sinds Newton’s grote ontdekking is er nog niet veel veranderd aan de manier waarop wij onderzoek verrichten. De 16^e-eeuwse pioniers William Harvey (1578-1651) en Johannes Kepler (1571-1630) waren bij de eersten die deductief te werk gingen. Hierbij probeerde zij complexe en onbegrepen fenomenen te vergelijken met alledaagse equivalenten. Harvey, bijvoorbeeld, vergeleek de bloedsomloop door het hart met een mechanische pomp,⁶ een beeld dat vandaag nog actueel is; en Kepler vergeleek de werking van het menselijk oog met een Camera Obscura.⁷ Deze modellen ontstonden volledig door een empirische vergelijking te maken, waarin waarneming en experiment een onafscheidelijke cruciale rol vervulden. René Descartes beschreef deze deductieve manier van denken, en zodoende wordt hij tegenwoordig gezien als grondlegger van de manier waarop wij de wetenschap bedrijven; “Iedere theorie is fout en het tegendeel wordt nooit bewezen”.

Het moderne concept dat de natuur een aaneenschakeling is van momenten stamt uit de school van Descartes. De wereld om ons heen kan zodoende worden beschreven als een toestand. Deze staat met zittende mensen en één staand persoon is zo’n toestand. De evolutie van de ene toestand naar de volgende geschiedt volgens wetten. De Natuurwetten beschrijven zo de verandering van de dingen om ons heen. Deze wetten kunnen dus alleen worden geformuleerd door onze omgeving in detail te bestuderen, en met name de verandering met de tijd van de wereld om ons heen. Dat doen we doorgaans door te experimenteren. Dat is wat natuurwetenschappers doen; ze bestuderen een toestand en zoeken vervolgens naar de relatie tussen de ene en een daar op volgende toestand. Vervolgens formuleren ze een wetmatigheid die deze verandering beschrijft, dat gebeurt doorgaans met wiskunde. Deze wiskundige formulering wordt een theorie genoemd. Dit betekent dat een theorie moet vereenvoudigen; de wiskundige beschrijving moet simpeler zijn dan de werkelijkheid. Een theorie moet ook verbanden leggen en hij moet voorspellende waarde hebben.

** Guust Flater is in de Verenigde Staten van Amerika bekend onder de naam *Gomer Goof*

Newton's wet van de zwaartekracht geeft een bijna kinderlijk eenvoudige beschrijving van een uiterst complex systeem, het legt een verband tussen de planeet banen en de zon. Urbain Le Verrier gebruikte de zwaartekrachtwet van Newton om op 31 August 1846 de positie van een nog onbekende planeet te berekenen.^{8,9,10} Zoiets was nog niet eerder gebeurd. In een brief van 23 September aan Johann Gottfried Galle¹¹ aan het observatorium in Berlijn beschreef Le Verrier zijn ontdekking, en diezelfde avond nog vond Galle de planeet Neptunus. Wat een geweldige tijd moet dat zijn geweest, en dat zonder email, sms of twitter.

De ontdekking van Neptunus illustreert hiermee de fundamentele eigenschappen waar een natuurwet aan moet voldoen, namelijk :

- **De natuur is voor iedereen gelijk.** Natuurwetenschap is niet voor de elite, maar voor iedereen. Ten tijde van Le Verrier voerde John Adams¹² precies dezelfde berekening uit, die zette Galle er vervolgens toe aan om zijn telescoop op de hemel te richten.***
- **Een natuurwet geldt overal.** Le Verrier is in Parijs terwijl Adams in Cornwall onafhankelijk van elkaar dezelfde berekening uitvoeren.
- **Een natuurwet is altijd gelijk.** Iemand zou vandaag de dag de berekeningen van Le Verrier kunnen overdoen om vervolgens met een verrekijker de planeet te vinden. Heel moeilijk is dat niet, maar het is wel veel werk.

We weten niet waarom de kosmos wetmatig is, en eigenlijk is dat nergens voor nodig. Het is één van de grootste raadsels van de natuur. Er wordt wel eens geopperd dat leven zoals wij dat kennen niet mogelijk zou zijn zonder die bewuste wetmatigheden, alsof we begrijpen hoe het leven op deze planeet is ontstaan. De conclusie laat ik aan u.

*** Later bleek overigens dat *"the brits stole Neptune"* in de zin dat John Adams meer eer had ontvangen voor de ontdekking van Neptunus dan hem eigenlijk toekwam. Dit werd overigens pas in 1846 openlijk door Adams erkend.

Het succes van de natuurwetenschap lijkt te suggereren dat uiteindelijk alles is te verklaren, en dat er uiteindelijk niets overblijft waar wij ons over kunnen verbazen. Echter, omdat wij zelf deel uitmaken van die zelfde natuur, we zitten er zo gezegd midden in, kun je stevige kanttekeningen plaatsen bij deze uitspraak. Wij hebben geen objectieve positie in het Heelal. En bij onze verklaring voor het Heelal moeten we tegelijkertijd ons eigen bestaan verklaren.

In de afgelopen decennia zijn de mathematische modellen gestaag ingewikkelder geworden. Newton ontwierp de calculus waarmee hij de zwaartekracht netjes beschreef. Hierop kon Le Verrier de berekeningen doen aan een nieuwe planeet die vervolgens door Galle werd ontdekt. Het werk van Newton werd voortgezet door Albert Einstein, die in 1915 met de algemene relativiteitstheorie een minieme maar o-zo belangrijke aanpassing in de zwaartekracht verwerkte.¹³ Einstein's bijdrage was uiterst belangrijk, met name omdat de theorie ver buiten onze dagelijkse belevingswereld ligt; geen mens heeft ooit op een zwart gat gezeten. Hiermee accentueert de relativiteitstheorie het menselijk inlevingsvermogen; kennelijk kunnen we zaken begrijpen die we op geen enkele wijze kunnen ervaren, en waar we geen affiniteit mee hebben. Zo kunnen we ook dingen uitrekenen waarmee we vervolgens onze intuïtie verder leren aanscherpen, en hiermee een basis leggen voor verder onderzoek.

Alhoewel onze denkbeelden met betrekking tot de werking van de natuur gestaag gecompliceerder zijn geworden, ziet het er toch naar uit dat alles via de aloude manier van het deductieve



Ijskristallen op de voorruit (foto genomen in 2007 door Helen Filatova).



Ryuanji rotstuin

6

denken kan worden afgeleid en begrepen. Het blijkt echter dat een aaneenschakeling van betrekkelijk eenvoudige rekenregels in de wiskunde al kan leiden tot nieuwe verschijnselen die oorspronkelijk niet expliciet door de vergelijkingen werden beschreven. De Algerijnse wiskundige Gaston Maurice Julia schreef in 1918 een reeks wiskundige vergelijkingen op die patronen vertoonden met een bijna onverklaarbare complexiteit, die tegelijkertijd schitterend waren in hun globale eenvoud.¹⁴ Het bestuderen van deze wiskunde vergde een voor die tijd fenomenaal rekenvermogen, en het werk van Julia werd vergeten. Totdat in 1977 Benoît Mandelbrot er door geboeid raakte. Dit leidde tot de onvergetelijke Mandelbrot-set, een zich onophoudelijk herhalend patroon dat op eenvoudige wijze wiskundig is te beschrijven, maar met een haast mystieke complexiteit.¹⁵

Aan de formulering van de Mandelbrot-set is op geen enkele wijze te zien wat voor rijkdom de dieper liggende wiskunde te bieden heeft. De theorie, weliswaar netjes geformuleerd, mist hierdoor de voorspellende eigenschap die iedere theorie

hoort te hebben. Waarom deze formulering hier te kort schiet is niet bekend. Het blijkt echter wel dat veel verschijnselen uit ons dagelijks leven effectief met deze theorie worden beschreven. Ik denk hierbij aan de zen tuin van de Kinkakuji tempel in Kyoto, en de ijskristallen op de voorruit van mijn auto. Het spijt mij altijd in zo'n geval de ruit te moeten krabben, maar de roep van verkleumde kinderen overwint uiteindelijk. Ter verduidelijking zal Paul van der Werf nu het 5e deel van de in 1720 door Johan Sebastian Bach gecomponeerde 3e suite voor u spelen.

De muziek die u hieronder ziet afgebeeld is een klassiek voorbeeld van een Cantor set, een in 1875, 155 jaar na Bach, door Henry Smith ontdekte mathematische beschrijving,¹⁷ die verwant is aan de eerder genoemde Mandelbrot-set.

Complex gedrag komt in de natuur dus expliciet voor, bijvoorbeeld in de muziek die u hoorde, maar ook in de zwaartekracht. Newton realiseerde zich dat er iets eigenaardigs was met de zwaartekracht van drie of meer lichamen die elkaar



1e regel van Bach's Bourée¹⁶

onderling aantrekken. Maar door een gebrek aan rekenkracht kwam hij niet ver. Even als vele latere goden als Leonhard Euler (1767)¹⁸ en Joseph-Louis Lagrange (1772)¹⁹, die ook allemaal bleven steken bij een nogal primitieve kwalitatieve beschrijven van het 3-lichamen probleem. Het onderzoek naar 3-lichamen is nog altijd actueel, hetgeen is te zien aan de recente buitengewoon originele oplossing van Richard Montgomery waarbij drie massa's elkaar eendeloos blijven achtervolgen in een soort achtvormige baan,²⁰ die tien jaar eerder echter al werd voorspeld door Chris Moore.²¹ Echter, niemand begrijpt waarom het 3-lichamen probleem zo gecompliceerd is.

Aangezien alle lichamen in het heelal met elkaar via de zwaartekracht interageren is het 3-lichamen probleem academisch kinderspel vergeleken bij het begrijpen van het zonnestelsel, een sterrenhoop, de Melkweg, de lokale groep van sterrenstelsels en de gehele kosmos. Dit lijkt natuurlijk een nogal ongemakkelijke situatie voor een sterrenkundige, om eigenlijk geen snars te begrijpen van zo'n beetje alle soorten stersystemen. Maar in werkelijkheid biedt dit gebrek aan inzicht enorme wetenschappelijke en intellectuele uitdagingen. En die uitdaging ga ik graag aan. De aspecten die we namelijk niet primair vanuit de theorie kunnen begrijpen, kunnen we mogelijk wel uitrekenen met behulp van rekentuig; zoals Mandelbrot door gebruik te maken van een computer kon aantonen welke rijkdommen er verborgen lagen in de schijnbaar eenvoudige formuleringen van Julia. Dergelijk rekenwerk kunnen we vervolgens weer gebruiken om onze intuïtie verder op te bouwen. Per slot van rekening begrijpen we de onderliggende fundamentele theorie van de zwaartekracht, alleen kunnen we de consequenties van het samenspel niet analytisch doorgronden.

Waarom zijn dergelijke zaken zo moeilijk te begrijpen? Faalt hier de wiskunde, de natuurkunde of het algehele menselijk bevattingsvermogen? En druist dit direct in tegen

de empirie van Konrad Zuse, volgens wie alles in het heelal kan worden uitgerekend omdat het universum niet meer is dan een gigantische rekenmachine, die hij "*Rechnender Raum*" noemde.²² Maar, als het heelal zichzelf uitrekent, wat is dan het algoritme?

Volgens de tweede hoofdwet van de thermodynamica neemt de orde in het Heelal gestaag af; het Heelal wordt steeds anarchistischer.^{****} Maar met de toename van chaos neemt ook de totale hoeveelheid informatie toe. Je hebt zo gezegd meer keuzevrijheid als er minder regels zijn. En dat is weer niet te rijmen met het denkbeeld dat het universum een computer is; omdat dan de hoeveelheid informatie gelijk dient te blijven. En hoe kunnen we er vervolgens zo zeker van zijn dat we zelf niet een simulatie in een simulatie zijn? Allemaal fundamentele vragen waar ik geen antwoord op heb.

Aangezien we de intrinsieke complexiteit van het heelal niet begrijpen, kunnen we het toch zeker ook niet uitrekenen? Of toch wel: sommige onbegrepen verschijnselen kunnen we namelijk uitstekend berekenen. Er zijn kennelijk dingen die we niet begrijpen, maar die we wel kunnen uitrekenen. De uitkomst van een dergelijke som kunnen we vervolgens weer gebruiken om het verschijnsel zelf te bestuderen, alsof je een experiment doet in een laboratorium. Op deze wijze kan een rekentuig helpen met het doorvorsen van de natuur. In veel van die gevallen is de hoeveelheid rekenwerk zó onbetamelijk groot dat het niet meer door mensen kan worden uitgevoerd. Hier komen toegewijde elektronisch rekenluigen van pas. Met dergelijke apparaten kun je in een korte tijd enorme hoeveelheden rekenwerk verzetten, waarmee je vervolgens experimenten kan doen om de eerder genoemde complexe verschijnselen te bestuderen. Maar uiteindelijk moet de uitkomst van een dergelijke som natuurlijk wel interpreteerbaar blijven, anders zijn we nog niets opgeschoten. In Douglas Adam's "*The Hitchhiker's Guide to the Galaxy*" wordt de allergrootste computer

**** Of in een enigszins wetenschappelijke formulering: de entropie van een geïsoleerd systeem dat niet in evenwicht is, neemt in de loop van de tijd toe, tot het maximum van dat geïsoleerde systeem is bereikt. De toestand met de maximale entropie is de evenwichtstoestand.

ter wereld gevraagd naar “*the Answer to the Ultimate Question of Life, the Universe, and Everything*”.²³ Na 7,5 miljoen jaar rekenen komt de computer met het antwoord: het getal 42. Een hele schare speciaal opgeleide geleerden blijkt vervolgens ontoereikend om het antwoord te interpreteren, maar een volgende generatie computer zal soelaas bieden.

We leven in een tijd waarin computers beter schaken dan mensen. We leven in een tijd waarin we ons leven dagelijks toevertrouwen aan computers. Binnenkort leven we in een tijd waarin computers ook sneller denken dan wij. Maar zijn computers ook goede scharrelendenkers? Kunnen ze, afgezien van administratie en vrij dom rekenwerk ook intuïtieve wetenschappelijke activiteiten van ons over nemen. En wie zal die computers programmeren? De computers zelf misschien? Stevenen we af op een door computers gedomineerde maatschappij, waarin de mens geheel is weggecijferd, met als afschrikwekkend voorbeeld de wereld zoals die wordt geschetst in “*the Terminator*”, of voor de jongere generatie “*the Matrix*”? Geen van deze bioscoopfilms toont een florissante toekomst. Geen gelukkig gepensioneerde mensheid, maar een apocalyps van machinale dominantie. Of zijn we al lang in deze toekomst beland. Waarbij onze dagelijkse gang door anderen kan worden gevolgd door middel van OV chipkaart en het elektronisch patiëntendossier. Dan is het fijn te bedenken dat nog niet zo lang geleden de computer geen enkele rol van betekenis had in onze maatschappij, en ook dat vandaag bij de Universiteit Leiden geen elektronische hulpmiddelen mogen worden gebruikt bij het uitspreken van een oratie; hoewel de oorsprong van het machinaal rekenen stamt uit de tijd van de Babylonische beschaving in Mesopotamië, 2500 voor het begin van de westerse jaartelling. In die tijd ging dat met stenen die als de kralen van een telraam in het zand werden gelegd. Hiermee zijn de berekeningswetenschappen niet eens zo heel veel later ontstaan dan de sterrenkunde.

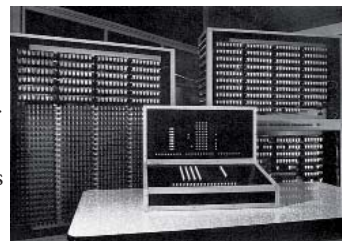


The Terminator

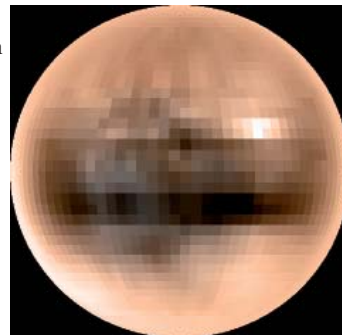
De renaissance in de sterrenkunde werd in 1608 ingeleid door de ontdekking van de telescoop door Johannes Lipperhey, meer dan 400 jaar geleden. Sinds die tijd is de telescoop bijna een miljoen keer lichtgevoeliger geworden.

De eerste computer werd 69 jaar geleden gebouwd door Konrad Zuse. De ontwikkeling die de telescoop in meer dan 400 jaar heeft doorgemaakt, heeft het rekentuig in minder dan 40 jaar doorgemaakt. De rekenluigen die wij vandaag gebruiken zijn een triljoen, dat is duizend miljoen miljoen, keer sneller dan de eerste computer van Zuse. Deze ontwikkeling is zo spectaculair dat het de gehele wetenschappelijke wereld, en de wereld daarbuiten op zijn kop heeft gezet.

Een groot deel van de culturele verschillen tussen de berekeningswetenschappen en de sterrenkunde zijn te herleiden tot de snelle technologische en intellectuele ontwikkeling van de informatica in de afgelopen paar decennia, terwijl de intellectuele aardverschuivingen in de sterrenkunde al lang geleden zijn uitgedempt. De gevestigde hiërarchie in de sterrenkunde is het er al lang over eens wat een ster is, of een sterrenstelsel, terwijl berekeningswetenschappers onenigheid hebben in hoeverre gedistribueerd rekenen nu wel of niet een subdiscipline is van het parallelle rekenen. Hierbij moet ik echter wel opmerken dat ook sterrenkundigen aardig kunnen ruziën, zoals over planetoïde 134340, een kleine dwerg planeet die ook wel bekend staat onder de naam Pluto.



De Zuse-3, het eerste digitale rekentuig²².



De planetoïde 134340 (foto genomen met de Hubble ruimtetelescoop)

Toch zijn computerwetenschappers naar verhouding tot sterrenkundigen soms net verwende kinderen, die van gekigheid niet weten wat ze moeten doen met al het speelgoed. Bedenk dat een jonge hoogleraar in de berekeningswetenschappen een groot deel van zijn carrière zonder computer kan hebben doorlopen, terwijl een sterrenkundige letterlijk onder een steen moet hebben gezeten om zonder telescoop te zijn opgegroeid. Ik heb zelf onder zo'n steen gezeten, maar ik ben wel opgegroeid met de computer.

De verschillen in de ontwikkeling van de beide disciplines accentueren de culturele variatie die wij vandaag nog zien tussen sterrenkundigen en berekeningswetenschappers. De sterrenkunde gemeenschap is zelfgeorganiseerd terwijl men bij de berekeningswetenschappen meer van een centrale organisatie kan spreken. Deze centrale organisatie wordt overigens bij sommige universiteiten zelfs zo ver doorgevoerd dat ook de voorzieningen voor Informatie Communicatie en Technologie gecentraliseerd worden. Een dergelijke centralisatie is de nekslag voor onderzoek dat zich op de grenslijn begeeft van berekeningswetenschappen en een andere discipline. Een dierentuin die moet bezuinigen zal er ook niet voor kiezen om alle dieren te laten opzetten, ook al scheelt het enorm in de kosten; geen voer meer, minder verzorgers, kleinere hokken. De geplande bezuinigingen van de Universiteit Leiden, *Verlagen Kosten Infrastructuur*, levert misschien structureel wel 500.000 € per jaar op, maar wat heb je daar aan als de universiteit hierdoor een museum wordt. Hopelijk hoeven we hier niet naar de eerder genoemde Vlaamse stripheld te verwijzen als we over tien jaar de rapporten lezen.

Gecentraliseerd of niet, digitale computers zijn geweldige apparaten. Maar de enorme ontwikkelingen van de afgelopen jaren heeft er toe geleid dat de meeste bereke-

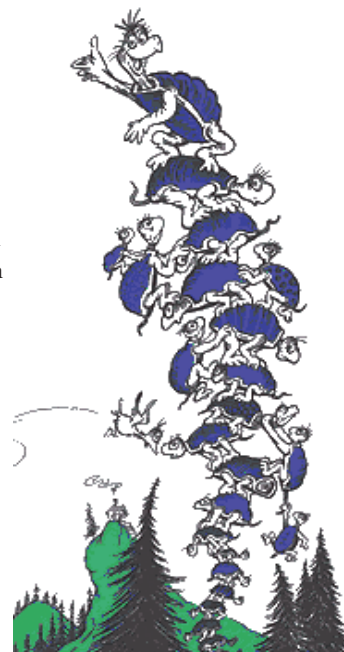


Mijn eerste computer programma schreef ik in Sinclair Basic op een geleende ZX81.

ningswetenschappers terugvallen op het nog verder verbeteren van het speelgoed, in plaats van te onderzoeken hoe de apparaten het meest efficiënt kunnen worden ingezet, en wat wij daarvan kunnen leren. Je zou het kunnen vergelijken met sterrenkundigen die altijd maar bezig zijn met het poetsen van hun spiegels, om nog meer sterren te kunnen zien. En hierdoor geen tijd meer hebben om door de telescoop te kijken.

Computers kunnen vooral heel snel en heel nauwkeurig rekenen. Indien correct geïnstrueerd, door middel van zelf geschreven programmatuur, kun je geweldige dingen met ze doen. Vreemd genoeg worden computers in de wetenschap nog voornamelijk gebruikt voor triviale nevenactiviteiten, als het bewerken van tekstbestanden, het maken van plaatjes en het aansturen van experimentele opstellingen. En dat terwijl de moderne computer juist enorm uitblinkt in rekenen, iets waar wij mensen nu juist niet zo goed in zijn. Hier ligt de uitdaging, en hier ligt een enorm onontgonnen wetenschappelijk potentieel. Met als belangrijkste vragen hoe we de moderne theoretische denkbeelden vertalen in voor computers begrijpelijke termen en hoe gaan we om met de beperkingen van de computer?

Zolang wij computers gebruiken om de wereld om ons heen te begrijpen, zal die wereld nooit gecompliceerder worden dan we met computers kunnen berekenen. Maar het alternatief is mogelijk nog angstiger, namelijk dat zolang wij computers niet gebruiken, wij zeker blijven steken tot waar



Koning Yertle uit het verhaal Yertle The Turtle²⁴.

ons brein het allemaal kan bevatten. Het rekentuig kan helpen datgene begrijpelijk te maken wat vanuit de theorie niet kan worden afgeleid. Een belangrijke beperking wordt gevormd door de complexiteit van de data uit die simulaties, die steeds meer op een eigen natuurkunde gaan lijken. De interpretatie van die data zal gestaag een theoretischer karakter krijgen. Hierbij zullen we vervolgens computers nodig hebben om de resultaten van de berekeningen te begrijpen. Niet heel anders dan wordt beschreven in Douglas Adams' eerder genoemde meesterwerk.

In hoeverre onze rol hierbij van enig belang zal blijven is niet duidelijk. Gelukkig zijn computers geen scharreldenkers, en missen hierdoor de kinderlijke intuïtie die zo onontbeerlijk is voor het doen van wetenschappelijk onderzoek.

Wanneer ik in 2033 veroordeeld wordt tot pensionering, zal mijn "Personal Digital Assistant" meer rekenkracht bevatten dan mijn brein. Misschien ben ik tegen die tijd ook overbodig als scharreldenker? En indien de Universiteit Leiden in de tussentijd haar conservatisme niet heeft verloren kan mijn afscheidsrede worden gegeven door een computer.

In 1676 schreef Newton aan zijn aartsrivaal Robert Hooke: *"If I have seen a little further it is by standing on the shoulders of Giants"*.²⁵ En zo sta ik weer op zijn schouders. Of eigenlijk op een wankel bouwwerk van op elkaars' schouders staande academici. Een dergelijk bouwwerk is effectief beschreven door Dr. Seuss' *Yertle the Turtle*,²⁴ waar koning Yertle boven op een toren van schildpadden staat op het eiland Sala-ma-Sond. Door het onophoudelijk opeenstapelen van schildpadden wil Yertle naar de maan, hetgeen hem duur komt te staan. Wij leven in de overtuiging dat ons bouwwerk een stuk steviger is dan dat van koning Yertle. En met mijn hooggeëerde promotor Frank Verbunt en mijn wetenschappelijke grootvader Ed van den Heuvel sta ik stevig. Beiden ben ik veel verschuldigd voor het jaren lang dragen van deze last.

Soms denk ik dat het de wetenschap ten goede zal komen als we wat minder op elkaars schouders, en mogelijk wat meer op elkaars tenen zouden staan. Zelf sta ik zelden op de schouders, maar meestal op de tenen van mijn lieve echtgenote

Merei, die in wijsheid en slimheid altijd ver boven mij uit zal blijven kijken. Dochters Dagmar en Maura, en zoon Nander staan het liefst weer op mijn tenen, bij voorkeur met ijskoude voeten en dat doorgaans om 4.30 uur 's morgens.

Ik heb gezegd.

Referenties

- 1 Portegies Zwart, F. *Poezie als kinderspel*, (De Bezige Bij, 1975). 2
- 2 Newton, S.I. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, vol. 1 (1687). 4
- 3 Franquin, A. *Guust Flater org. titel: Gaston Lagaffe*, vol. R1 (Dupuis, 1957). 5, 6
- 4 David, L. NASA Report: Too Many Failures with Faster, Better, Cheaper (2000). URL "http://www.about-space.com/business/technology/business/spear%_report_000313.html". 5
- 5 Reich, K. Logarithmentafeln – Gauss Tägliches Arbeitsgerät. In Mittler, G.E. (ed.) "*Wie der Blitz einschlägt, hat sich das Räthsel gelöst {Carl Friedrich Gauss in Göttingen}*", 73-89 (2005). URL "<http://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/e/2005/gausscd/html/hauptmenue.htm>". 6
- 6 Harvey, W. *On The Motion Of The Heart And Blood In Animals* (London, 1628). 6
- 7 Kepler, J. *Ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur* (Frankfurt, 1604). 6
- 8 Le Verrier, U.J. Recherches sur les mouvements d'Uranus par U.J. Le Verrier. *Astronomische Nachrichten* **25**, 53- (1846). 7
- 9 Le Verrier, U.J. Recherches sur les mouvements d'Uranus par U.J. Le Verrier (Fortsetzung). *Astronomische Nachrichten* **25**, 65- (1846). 7
- 10 Le Verrier, U.J. Recherches sur les mouvements d'Uranus par U.J. Le Verrier (Beschluss.). *Astronomische Nachrichten* **25**, 85- (1846). 7
- 11 Galle, J.G. Account of the discovery of Le Verrier's planet Neptune, at Berlin, Sept. 23, 1846. *MNRAS* **7**, 153- (1846). 7
- 12 Adams, J. C. Explanation of the observed irregularities in the motion of Uranus, on the hypothesis of disturbance by a more distant planet. *MNRAS* **7**, 121-158 (1846). 7
- 13 Einstein, A. Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der Physik* **49**, 769-822 (1916). 8
- 14 Julia, G. Mémoire sur l'itération des fonctions rationnelles. *Journal de mathématiques pures et appliquées* **7e série, Tome IV - Fasc. 1**, 49-245 (1918). 8
- 15 Mandelbrot, B. Les objets fractals, forme, hasard et dimension (Flammarion, Paris, 1975). 8
- 16 Bach, J. BWV 1009 Bourées. Cello Suite #3, 5th movement (composed between 1717 and 1723). 9
- 17 Smith, H.J.S. On the integration of discontinuous functions Proceedings of the London Mathematical Society, Series 1, **6**, 140-153 (1875). 9
- 18 Euler, L. Theoria motus corporum solidorum seu rigidorum ex primis nostrae cognitionis principiis stabilita et ad omnes motus, qui in hujusmodi corpora cadere possunt, accommodata (St Petersburg, 1765). 9
- 19 Lagrange, J.-L. Essai sur le Problème des Trois Corps. Prix des L'Académie Royale des Sciences de Paris **Tome IX** (1772). URL <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt-6k229225j/f231n103.capture>. 9
- 20 Montgomery, R. Infinitely many syzygies. *Arch. Rational Mech. Anal* **164**, 311-340 (2002). 9
- 21 Moore, C. Braids in Classical Dynamics. *Physical Reviews Letters* **70**, 3675-3679 (1993). 9
- 22 Zuse, K. Rechnender Raum. *Elektronische Datenverarbeitung* **8**, 336-344 (1967). 10
- 23 Adams, D. *the Hichhiker's Guide to the Galaxy*, vol. 1 (BBC Radio 4, 1978). 11
- 24 Geisel, T. *Yertle the Turtle and Other Stories* (Random House Books, 1958). 14
- 25 Newton, I. Personal letter to Robert Hooke (1676, Februari 15; dated as 5 February 1675 using the Julian calendar with March 25th rather than January 1st as New Years Day). 14

PROF. DR. SIMON F. PORTEGIES ZWART



Van links naar rechts staand, Frank Verbunt (academische vader), Ed van den Heuvel (academische grootvader), en de orator.

Hangend v.l.n.r. Willem Einthoven, Kamerling Onnes, Hendrik Antoon Lorentz.

- 1992 Doctoraal Sterrekunde aan de Universiteit van Amsterdam, afstudeer begeleider Jan van Paradijs, titel scriptie: "Bolvormige Sterrehopen"
- 1996 Promotie Sterrenkunde Universiteit Utrecht, promotor Dr. F. Verbunt, titel proefschrift: "Interacting Stars"
- 1997 Postdoctoraal onderzoeker aan de Universiteit van Amsterdam
- 1998 JSPS fellow aan de Universiteit van Tokio, Japan
- 1999 Hubble Fellow aan het Massachusetts Institute of Technology, VS
- 2002 KNAW gezelschap aan de Universiteit van Amsterdam
- 2007 Universitair docent aan de Universiteit van Amsterdam
- 2009 Hoogleraar in de numerieke sterodynamica aan de Sterrewacht Leiden



Universiteit Leiden