

perio*diek

op regelmatige tijden terugkerend november december 2007

$$\sum_{p \leq x} (\log p)^2 + \sum_{pq \leq x} \log p \log q = 2x \log x + O(x) \Rightarrow \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\theta(x)}{x} = 1$$

$$\pi[x(1+c)] - \pi[x] > \frac{\delta(c)x}{\log x}$$

Hieruit $\frac{\theta(x)}{x} = 1$: $\theta(x) = \sum_{p \leq x} \log p$

Notatie $\sup_{p < \infty} \frac{\theta(x)}{x}$ en $a = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{\theta(x)}{x}$



2 | Van de redactie

DOOR CORINE MEINEMA

Tijdens zo'n perioweekend leer je je mede-commissieleden goed kennen. Je deelt barre tijden met elkaar en je leert elkaars sterke en zwakke kanten kennen. Willem 'fruitkoning' Hendriks heeft aan het begin van het weekend de vieze vaat afgewassen en ik denk dat hij hiermee alle FMF'ers die wel eens in de BONK zitten, blij heeft gemaakt. Zo kwamen we een pan tegen waar Samuel sinds het vorige perioweekend pastasalade in had bewaard. Je kunt je wel voorstellen wat voor geur er vrijkwam toen de deksel van deze pan werd opgetild. Willem liet zich hier niet door afschrikken en ging de schimmel te lijf. Ook heeft hij weer fruit geperst om de redactie te verblijden met sinaasappel-banaansap.¹ Maar Willem heeft een zwak voor muziek en moet zijn belangrijke taken vaak onderbreken om een nieuw nummer uit te zoe-

ken. Samuel heeft doorgaans de obsessie om iedereen te 'eien', wat inhoudt dat hij iedereen wil laten weten wanneer iemand bijvoorbeeld zijn email-account niet goed afsluit. Hij mailt uit naam van de ander "ik ben een ei" of creatievere variaties hierop. In het algemeen is hij erg scherp op zijn eigen account, maar dit weekend is het hem, tot mijn grote genoegen, een aantal keer ontglipt.

Waar ik het overzicht was kwijtgeraakt, heeft Ester me geholpen de draad weer op te pakken. Ook heeft ze ons getrakteerd op heerlijke chocoladebrownies.

Begin december heeft Mark het erg zwaar. Hij heeft namelijk een ontzet-

tende hekel aan kerstliedjes voor Sinterklaas en is hierdoor snel afgeleid. Gelukkig wist Willem een dusdanige selectie te maken dat Mark met zijn kritische blik heel wat fouten en onduidelijkheden uit de artikelen heeft weten te halen. Over kritische mensen gesproken... Helaas hebben we Ellen 'spellingnazi' Schallig dit weekend niet beter leren kennen. Ze was ziek en heeft vanuit haar ouderlijk huis nog geholpen met reviews. Gelukkig heeft Monique van Beek ons dit weekend ook geholpen met reviews, wat wij zeer waarderen. Nogmaals onze grote dank hiervoor.

Onze twee opmaakhelden Pjotr en Marten hebben dit weekend wederom hun kunsten laten zien met de mooiste opmaak ooit. Pjotr had zondagmiddag een waterpolowedstrijd in Sneek en is teruggekomen om 's avonds verder te werken. Marten heeft er onder andere voor gezorgd dat Erdős' δ overal in de perio goed geschreven staat. Dit betekent niet dat Willem geen held is, maar in al zijn bescheidenheid blijft hij maar beweren slechts een beginner te zijn.

Met veel moeite hebben bovengenoemde mensen er weer een kunstwerk van gemaakt. Helemaal 'hot' is de gebruikte statistiek in de zaak van Lucia de Berk, die wij hebben uitgediept. Op pagina dertig valt te lezen dat de 2,3-Turingmachine universeel is, iets wat onlangs bewezen is. Als laatste wil ik nog noemen dat we ons geen zorgen meer hoeven te maken over waar een goedkope maaltijd bij elkaar te sprokkelen, want ook hierin hebben wij duidelijkheid geschept. •

COLOFON

Hoofdredacteur
Corine Meinema

Eindredactie
Willem Hendriks, Samuel Hoekman, Mark IJbema, Ester van der Pol, Ellen Schallig, Pjotr Svetačov, Marten Veldthuis

Redactie
Monique van Beek, Ivar Postma, Femke van Seijen

Met dank aan
Wim Hesselink, Erik Weitenberg, Dirk Zittersteyn

Adverteerders
ASML (pag. 9), TMC Physics (pag. 12), Ordina (pag. 17), B/C ICT (pag. 20-21), Quinity (pag. 29), Corus (pag. 30), Optiver (pag. 40)

Ook adverteren? Neem contact op met bestuur@fmf.nl.

Oplage
1450 stuks

Druk
Scholma, www.scholma.nl

ISSN
1875-4546

De Periodiek is een uitgave van de Fysisch-Mathematische Faculteitsvereniging en verschijnt vijf keer per jaar. De redactie is te bereiken via perio@fmf.nl. De deadline voor de volgende Periodiek is 25 januari 2008.

Oude Periodieken zijn te vinden op: www.perio.fmf.nl.

¹ De ideale man is nog vrijgezel, dus dames, liefdesverklaringen kunnen naar perio@fmf.nl.

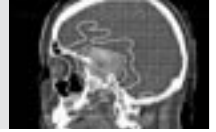
- 6 Het Poincaré-vermoeden
Maar dit kon hij niet vermoeden



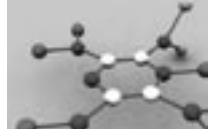
- 10 De bouw van piramides
Uit hetzelfde hout gesneden



- 13 Stralingstherapie met ionen
Want wij gaan deeltjes schieten!



- 18 Moleculaire chips
Revolutionair Grunnens onderzoek



- 22 De statistiek van Lucia de Berk
Statistiek liegt nooit, of wel?



- 25 Erdős
Veters strikken vond hij niet zo belangrijk



- 31 Turingmachines
“Machines take me by surprise with great frequency”



- 34 Supermarktenonderzoek
Een prakkie voor een prikkie



In het nieuws	4
Van de Commisaris-Extern	8

Marks boekentip	37
Breinwerk	38

4 In het nieuws

Wiskunde vereist sociale vaardigheden

Wat blijkt? Wiskundig vermogen op latere leeftijd hangt af van sociaal inbeeldingsvermogen op jonge leeftijd. Onderzoekers vroegen een groep kleuters om een plaatjesverhaal te lezen. Vervolgens moesten de kleuters dit verhaal herhalen tegen een knuffelbeer. En wie blijken later de beste vaardigheden in wiskunde te hebben? Juist de kinderen die zich goed kunnen inleven in alle spelers in het verhaal. We hopen dat dit recente resultaat voor eens en altijd het beeld van de contactgestoorde bèta doet vervagen!

<http://www.sciencenews.org/>

'Witte' dwergen ontdekt

Recent keken astronomen naar de hemel, en zagen opeens negen witte dwergen die helemaal niet kunnen bestaan. Normale witte dwergen ontstaan uit sterren als onze zon, waarvan de kern aan het eind van het leven instort. Deze ingestorte kern bestaat uit waterstof en helium en wordt met witte dwerg aangeduid, omdat ze nog maar een fractie van de grootte van een ster zijn.

De negen witte dwergen die onlangs zijn gevonden, hebben echter een atmosfeer die niet bestaat uit deze twee elementen, maar uitsluitend uit koolstof. Astronomen hebben geen idee hoe dit kan. Koolstof wordt namelijk wel geproduceerd in sterren ongeveer tien keer zwaarder dan de zon, maar die eindigen altijd als supernova: ze exploderen en er blijft weinig van over. Een mogelijkheid is dat deze 'witte' dwergen oorspronkelijk sterren waren die net niet zwaar

genoeg waren om te exploderen als supernova, maar zo dichtbij de limiet zaten dat ze wel veel koolstof bevatten. De ontdekking zou wel eens een nieuwe tak van sterrenkunde kunnen openen.

<http://www.sciencemag.org>

Negatieve winst

Voor veel Engelsen is het vergelijken van negatieve getallen te hoog gegrepen. Camelot introduceerde recent een 'cool cash' kraslot waarmee je won als je een hogere temperatuur krasste. Maar toen een vrouw hoger dan -6 moest krassen en -8 krasste, rekende de computer het fout. Zowel de vrouw als de winkelbediende snapte er niks van. En zij waren niet de enigen. Er was zoveel verwarring dat Camelot het spel maar teruggetrokken heeft. En de vrouw? "I phoned Camelot and they fobbed me off with some story that -6 is higher—not lower—than -8, but I'm not having it!"

<http://manchestereveningnews.co.uk/>

Digitale boekenlezer omstreden

Amazon heeft onlangs de Kindle in Amerika op de markt gebracht, een apparaat om al je boeken digitaal te lezen. De meningen over het apparaat zijn echter nogal verdeeld. Hoewel het apparaat de eerste stap naar de Hitchhikers Guide to the Galaxy is, is het de vraag of de consument bereid is daarvoor alle vrijheden die ze met papieren boeken nu wel heeft, op te geven. Vanwege Amazons DRM (Digital 'Rights' Management) op de boeken kun je deze noch uitlenen

noch printen. Bovendien krijg je alle boeken in een bestandsformaat van Amazon, dus je weet niet zeker of je over tien jaar je digitale boeken nog kunt lezen.



<http://daringfireball.net/>

Piraten kapen site

De International Federation of the Phonographic Industry, een soort internationale Stichting Brein, keek beuteerd op toen ze er half oktober achter kwamen dat het domein ifpi.com geënterd was door piraten. De International Federation of Pirate Interests – u kent ze wel, ze hebben ook een baai – heeft de site nu in beheer. Yarr!

<http://torrentfreak.com/>

Brand gedooft na 50 jaar

In China is een kolenbrand in een mijn in de Xinjiang-regio geblust. Deze brand woedde al 50 jaar, voedde zich met kolen zo'n honderd meter onder de grond, en besloeg een gebied van 923.500 vierkante meter. Om deze grootschalige brand uit te krijgen, zijn gaten in de grond geboord om daardoor de hitte weg te krijgen en daarna zijn deze volgestopt met water en slurrice. Verder is

het gehele gebied goed afgedekt, om te voorkomen dat er zuurstof bij kan komen. Naast al deze maatregelen wordt het gebied nog tot 2009 geobserveerd om ervoor te zorgen dat de brand niet opnieuw kan starten.

Er zijn wel vaker van dit soort branden: zo is in India kortgeleden een brand na 130 jaar eindelijk geblust en is er in Australië een plaats met de naam 'Burning Mountain', waar al 6000 jaar een kolenbrand woedt. <http://www.nature.com/>

Huid wordt stam

Decennialang is al de discussie gaande of het ethisch verantwoord is om gekloonde embryo's te kweken voor hun stamcellen. Het einde van deze discussie lijkt in zicht, omdat er een nieuwe methode is ontdekt om de cellen te verkrijgen. Twee onderzoeksgroepen hebben aangetoond dat door menselijke huidcellen te wassen in cocktails van genen, deze geherprogrammeerd worden tot op stamcellen lijkende cellen.

Hoewel dit een grote doorbraak is, zal het nog wel de nodige aanpassingen moeten ondergaan voordat het geschikt is om in de medische wereld te worden toegepast. Het is dus nog niet over met het klonen van embryo's.



<http://www.sciam.com/>

Coole deeltjes

In de de perio van maart/april berichtten we er al over, en nu is het dan zo ver. De grootste deeltjesversneller ter wereld is officieel opgeleverd. In Genève is de laatste naad van de Large Hadron Collider van het CERN gelast. Nu het bouwwerk voltooid is, kan de koeling, die de magneten van de deeltjesversneller tot iets onder de twee graden Kelvin koelt, aan. Zo kan het energieverbruik enorm omlaag, omdat de magneten bij die temperatuur gaan supergeleiden. De deeltjesversneller zal gebruikt worden om te zoeken naar het higgsdeeltje en onderzoek te doen naar anti-materie.

<http://www.kennislink.nl/>

Zombie kakkerlakken

Het klinkt als een slechte horrorfilm, maar ze bestaan echt. Een bepaalde wesp leeft van kakkerlakken, maar deze heeft een hele aparte manier om deze aan haar larven te voeden. De meeste roofdieren die met gif werken, spuiten dit in hun prooi en slepen deze naar hun hol. De *Ampulex compressa* doet het op een andere manier. Eerst spuit hij gif in de kakkerlak om deze te verlammen. Daarna spuit hij een tweede keer gif in de kakkerlak, ditmaal in de hersenen, waardoor een bepaalde ontvanger in de hersenen wordt geblokkeerd. Hierdoor is de kakkerlak nog wel in staat om te bewegen, maar niet meer uit eigen wil. De wesp pakt de kakkerlak bij zijn antennes en begeleidt hem naar het hol, waar de larven hem opeten. Een briljante manier die een stuk



minder energie kost dan het verslepen van een prooi.

<http://www.nature.com/>

Imitatiewijn tegen diabetes

Uit eerdere studies met muizen is naar voren gekomen dat een bepaalde stof in rode wijn, resveratrol, een positieve werking heeft op een gezond leven en helpt om vetgerelateerde ziektes te bestrijden. Wel is zeker vier liter wijn of een sterke pil met resveratrol nodig is om bij mensen dit effect te bereiken. Resveratrol werkt doordat deze een bepaalde proteïne in het lichaam activeert die het metabolisme beïnvloedt. Nu is er een nieuwe stof, SRT1720, ontdekt die hetzelfde effect opwekt, maar waar een kleinere dosis voor nodig is. Van deze stof is ongeveer vijf keer zo weinig nodig als van resveratrol om hetzelfde effect te krijgen. Aan het begin van 2008 zullen testen plaatsvinden van SRT1720 als medicijn tegen diabetes.

<http://www.nature.com/>



6 | Het Poincaré-vermoeden

DOOR MARK IJBEMA

Meer dan een eeuw geleden stelde Poincaré zichzelf een ogenschijnlijk eenvoudige vraag. Toch zorgde deze vraag onder wiskundigen uit de twintigste eeuw voor veel vruchtbaar onderzoek, gestolen bewijzen en heftige intriges.

Op een goede dag doopte Henri Poincaré zijn kopje koffie in zijn donut, en dacht eens diep na over hoe je nou objecten uit elkaar kon houden. Naast een rits andere vakgebieden (we noemen bijvoorbeeld zijn werk op het gebied van de relativiteitstheorie) was Poincaré namelijk ook bezig met topologie. Dit is een nogal vreemd vakgebied van de wiskunde. Het wordt vaak rubberen meetkunde genoemd, omdat je het kunt zien als meetkunde op een rubberen vlak. Stel, je neemt een groot rubberen vlak en je tekent daarop een driehoek. Als je nu bij een van de zijden hard aan het rubber trekt, krijg je al gauw een vierhoek. In het algemeen geldt dat je een willekeurig voorwerp eigenlijk zoveel mag vervormen, vergroten en verkleinen als je wilt. Je mag alleen niet knippen in het object. Twee vormen zijn gelijk als er een continue transformatie van de ene naar de andere is.

Van sommige voorwerpen valt nu eenvoudig in te zien dat ze gelijk zijn. Je kunt immers een voetbal eenvoudig vervormen naar een rugbybal of een legoblokje. Of in ieder geval, je kunt dit eenvoudig doen als je een wiskundige hypothetische klei hebt waarvan deze voorwerpen zijn gemaakt. Ook kun je zonder veel moeite een kopje koffie in een donut veranderen, door het oor te laten voor wat het is, en de hypothetische klei van het kopje langzaam het oor in te kneden. Maar terwijl het eenvoudig is om te zeggen welke voorwerpen gelijk zijn, is het aanzienlijk moeilijker om te bepalen of twee voorwerpen echt verschillend zijn.

Maar stel je nu eens voor dat je een touwtje om een bal heen legt. Ongeacht hoe je deze eromheen legt, als je het touwtje aantrekt, dan zal het uiteindelijk volledig in een punt verdwijnen (of van de bal vallen, hetgeen topologisch hetzelfde is). Als je dit echter bij een fietsband doet, dan zul je dit niet altijd kunnen. Als je het er immers zo kort mogelijk omheen doet, door de opening van de band dus, dan trek je de band samen, maar je zult het touwtje nooit van de band kunnen halen. We kunnen nu vaststellen dat een fietsband (en dus een donut en een koffiekopje) en een bal topologisch verschillend zijn. Nu we zo'n mooi systeem hebben om voorwerpen uit

elkaar te houden, kijken we hoe we dit algemeen kunnen maken. Je kunt het oppervlak van de bol zien als een 2D-oppervlak waarop zekere topologische invarianten gelden, zoals dat elke lijn die over het oppervlak loopt (op wat van manier dan ook), en weer in zijn beginpunt eindigt, kan worden samengetrokken tot een punt. Zoals we een 2D-oppervlak over een 3D-figuur definiëren zo kunnen we ook een 1D-oppervlak over een 2D-figuur definiëren, namelijk de lijn die om een schijf loopt. Hier geldt deze eigenschap niet – immers, je kunt een lijn om een schijf nooit samentrekken zonder 'door' de schijf heen te gaan. Het eerste oppervlak noemen we de 2-sfeer, en het tweede oppervlak heet de 1-sfeer.

Poincaré hield zich echter niet bezig met dergelijk eenvoudige vragen, maar met een schijnbaar even eenvoudige vraag, namelijk of je een lijn op de 3-sfeer ook zou kunnen samentrekken. Hierbij is de 3-sfeer weer een oppervlak om een bol heen, maar ditmaal om de vierdimensionale bol. Hoewel misschien wat moeilijk te visualiseren, klinkt het probleem niet veel ingewikkelder. Poincaré had eigenlijk al aangenomen dat dit ook gold voor de 3-sfeer, tot hij zich opeens bedacht dat het wel eens niet waar zou kunnen zijn. Uiteindelijk is hij er niet uitgekomen. Deze veronderstelling heeft hij achtergelaten als wat later het Poincaré-vermoeden is genoemd.

Vele jaren heeft het probleem geen oplossing gekregen, totdat in 1960 Stephen Smale bewees dat het vermoeden gold voor elke n -sfeer. Het enige probleem was dat zijn bewijs alleen werkte voor n groter dan 5. In 1981 wist Michael Freedman op een andere manier het geval n gelijk aan 4 op te lossen. Hoewel beide grootse prestaties, bleef nu juist de vraag van Poincaré met betrekking tot de derde dimensie open.

In 2000 loofde het Clay Instituut voor zeven wiskundige problemen een prijs van een miljoen dollar uit. Deze problemen zijn de zogenoemde Millennium Problemen. En inderdaad, een van deze problemen is het bewijzen (of ontkrachten) van het Poincaré-vermoeden. En was dit artikel twee jaar terug geschreven, dan was dit waarschijnlijk ook het einde van het artikel geweest.

Op het internet heb je een site genaamd arXiv (spreek uit: “archive”), alwaar artikelen van grofweg de FMF-studies kunnen worden gepubliceerd. De artikelen worden dus niet gepeer-reviewed, zoals wanneer ze in een blad worden geplaatst. Maar de meeste auteurs publiceren alleen nadat ze er wel zelf goed over nagedacht hebben, en soms worden papers ook herzien. Veelal worden de papers later alsnog gepubliceerd in een peer-reviewed blad. Maar niet altijd. In november 2002 publiceerde Grigori Perelman een bewijs van het Thurstons classificatievermoeden, waarvan het Poincaré-vermoeden een speciaal geval is. Perelman hield van wiskunde, maar niet van al het gezeur om een artikel gepubliceerd te krijgen. Zo zei hij: “If anybody is interested in my way of solving the problem, it’s all there [on the arXiv]—let them go and read about it.”

Nu kwam Perelmans bewijs natuurlijk niet uit de lucht vallen. Zo bouwde hij voort op het werk van Hamilton aangaande de zogenoemde Ricci Flow. Hamilton vermoedde al dat de Ricci Flow gebruikt kon worden in een bewijs van Thurstons vermoeden. Toen hij echter aan dit bewijs werkte, liep hij vast op enkele subtiele uitzonderingen, zogenoemde nekken en sigaren. Toen Perelman op een gegeven moment een manier zag om dit probleem te omzeilen, nam hij contact op met Hamilton met als voorstel samen te werken. Hier kreeg hij echter nooit antwoord op.

Perelman was niet de enige die wilde samenwerken met Hamilton. Eerder al had Fields Medal-winnaar Yau hem opgezocht en aangemoedigd verder te werken aan het Poincaré-vermoeden. Yau hoopte dat wanneer hij Hamilton kon helpen met het oplossen van het Poincaré-vermoeden, dit China permanent op de wereldkaart zou zetten op wiskundig gebied. Maar terwijl Perelman wel gebruik maakte van de resultaten van Hamilton en Yau, lieten zij de zijne links liggen.

Toen Perelman zijn bewijs publiceerde op arXiv, veranderde dat. Hoewel het bewijs gecompliceerd was en veel stappen erg snel werden genomen, vermoedden de meeste wiskundigen dat het wel correct was. Yau gaf het bewijs aan een van zijn studenten. Het bewijs was naar zijn mening zo slordig, dat iemand het nog ‘af’ moest maken. Het resulterende paper werd zonder peer-review geplaatst in een tijdschrift waarvan Yau hoofdredacteur was. Op een natuurkundeconferentie presenteerde zijn

student vervolgens zijn paper: hij had het Poincaré-vermoeden opgelost. Deze gang van zaken veroorzaakte veel ophef in de academische wereld. Niet alleen waren de academische waarden en normen geschaad doordat Yau zomaar het reviewproces omzeilde en achterbaks op een ongerelateerde conferentie het paper liet presenteren, ook vond men de claim dat dit het bewijs was niet terecht. Het bewijs van Perelman werd al gezien als correct.

In 2006 kreeg Perelmans werk de erkenning die het verdiende. Er werd zelfs besloten hem een Fields Medal te geven op the International Congress of Mathematicians. Maar van Perelman was al enkele jaren weinig vernomen. Na in 2003 in Amerika enkele lezingen over zijn bewijs te hebben gegeven, leefde hij een enigszins teruggetrokken bestaan. In 2006 kwam de organisator van het congres bij hem langs om hem te vertellen dat hem de Fields Medal was toebedeeld. Perelman had hier echter helemaal geen belangstelling voor. Hij had toch zeker een correct bewijs geleverd? En men begreep zijn bewijs toch? Dat was dan toch alle erkenning die nodig was? En ook voor de millenniumprijs had hij geen belangstelling.

Yau werd in het artikel “Manifold Destiny”, geplaatst in The New Yorker, met de grond gelijk gemaakt: de Fields Medal-winnaar moest per se de beste van China zijn. Hij die fraudeerde door andermans bewijzen af te doen als incorrect en ze door zijn studenten te laten kopiëren. Hij maakte misbruik van zijn macht. Hoeveel van deze claims waar zijn, is moeilijk na te gaan. Yau heeft fel protest aangetekend bij het tijdschrift, maar The New Yorker staat achter de publicatie en blijft erbij dat het journalistiek volledig verantwoord is. De waarheid zal in het midden liggen. Yau is niet echt de makkelijkste persoon om mee om te gaan, maar anderzijds wilde The New Yorker met het artikel natuurlijk ook een goed verhaal neerzetten. In ieder geval is het zeker het lezen waard.

Perelman woont nu in een flatje bij zijn moeder. Sinds december 2006 heeft hij geen werk meer. Hij heeft zich niet teruggetrokken uit privacy-redenen of omdat hij iets te verbergen heeft. Hij vindt zichzelf de interesse niet waardig en heeft geen behoefte aan zelfpromotie. Of, zoals hij over dit stukje zou zeggen:

“Newspapers should be more discerning over who they write about. They should have more taste. As far as I am concerned I can’t offer anything for their readers.” •

8 | Van de commissaris-extern

DOOR FEMKE VAN SEIJEN

De zon schijnt en de lucht is blauw. Het is 30°C en ik lig buiten op het strand, te genieten. Ik hoef even helemaal niks te doen. Een ober vraagt of ik nog wat wil drinken. Ik glimlach en zeg: "Ja lekker, een verse jus graag." Nog geen minuut later komt mijn ober alweer aangerend met een heerlijk koele, verse jus. Ik bedank hem. Hij trekt zich discreet terug. Terwijl ik, genietend van mijn jus, wat om me heen kijk, zie ik een aantal leuke jongens en meiden lopen. Loom hijs ik mezelf overeind en stap ik op ze af. Ze

lachen en een roept heel hard: "Femie! Lekker geslapen?" Ik antwoord dat ik heerlijk geslapen heb en vraag of ze mee gaan zwemmen. Daar hebben ze wel zin in, het is tenslotte weer eens iets anders dan met elkaar vergaderen. Na een uurtje zwemmen hebben we het wel weer gehad. We gaan even zonnen om ons vervolgens terug te trekken in ons luxieuze appartement waar we ons opfrissen voor het avondeten.

Om stipt half acht staat er een limousine voor de deur. We worden naar het

exclusieve "El Bulli" gebracht, waar Ferran Adrià zelfs een melkvel tot een heerlijk hapje weet te maken. Fantastisch, waar geld al niet goed voor is. Na het voortreffelijke eten worden we naar een club in Girona gebracht, alwaar we de hele nacht dansend en champagne drinkend doorbrengen. Moe maar voldaan ploffen we neer op onze zijden lakens. We praten nog wat na en vallen vervolgens in slaap.

Ik word wakker van een doordringend gezoem. Even weet ik niet waar ik ben, ik kijk verward om me heen. Wat doet al die rotzooi op de vloer? Waarom lig ik niet in een bed met zijden lakens? Waarom is het zo ontzettend koud? En waarom, in hemelsnaam, gaat er een wekker om half acht 's morgens?

Dan begint me iets te dagen.... Ik ben niet in Spanje. Het was een droom, een mooie droom, dat wel. Ik lig nog even na te genieten, voordat ik me realiseer dat ik haast heb. Om negen uur hebben we een bestuursvergadering en mijn actiepuntenlijst beslaat op dit moment drie A4'tjes. Een hoop te doen dus vandaag. En ondanks dat de stress alweer door mijn lichaam giert en ik me bedenk dat ik eigenlijk liever nog vier uur had willen slapen, heb ik er zin in! Okee, het is geen in-drie-sterren-restaurants-etende-en-champagne-in-exclusieve-clubs-drinkende vakantie, maar besturen is toch zeker een goed alternatief. Hoe relaxt het ook is om helemaal niks te hoeven doen, ik vind het op bezoek gaan bij al die bedrijven veel te leuk!

En die decadente vakantie? Tja, hoe lekker champagne ook is, van een biertje kan ik ook echt wel genieten! •





Een complexe operatie

Verschillende technici

Teamwork

Hevige concurrentie

Onderzoek

Ontwikkeling

Cleanroom

Technologische doorbraak noodzakelijk

Lange dagen

Ontwerpen en testen

Opnieuw beginnen

De tijd dringt

Kan niet bestaan niet

Een nieuw ontwerp

Een grens verlegd

Samen verder.

Een bijzondere markt, waarin de technologische ontwikkelingen elkaar in een razend tempo opvolgen, vraagt om bijzondere medewerkers. Om een bijzondere mentaliteit. Om commitment aan elkaar. Het commerciële inzicht, de passie voor techniek, de resultaatgerichtheid en de teamgeest van alle medewerkers hebben ASML gebracht waar het nu staat: aan de

wereldtop. Het commitment van ASML aan haar medewerkers uit zich onder andere door een omgeving te creëren waarin zij hun ideeën kunnen vormgeven en zich professioneel kunnen ontwikkelen. Samen verder, zodat het nooit eenzaam wordt aan de top. ASML is één van de meest vooraanstaande leveranciers van ic-productiesystemen ter

wereld. Wereldwijd, op meer dan vijftig regionale verkoop- en servicelocaties, weet ASML zich verzekerd van het commitment van zo'n 5000 betrokken medewerkers. Commitment aan je klanten kun je immers pas geven, als je zeker weet dat je het ook krijgt van je medewerkers. Wil je meer weten over ASML, kijk dan op www.careers.asml.com



ASML
Commitment

10 | De bouw van piramides

DOOR PJOTR SVETACHOV EN CORINE MEINEMA

Al eeuwen vraagt men zich af hoe de piramides in Egypte – zoals de piramide van Cheops in Gizeh – gebouwd zijn. De bekendste theorie is dat de blokken die gebruikt werden voor de piramide uitgegraven zijn en naar boven geslept werden. Professor Guy Demortier denkt hier echter anders over. Op dinsdag 16 oktober weidde hij hierover uit in de lezing *“The Construction of the Pyramid of Kheops at Giza”*, alwaar een delegatie van de redactie aanwezig was.

De piramide van Cheops is in ongeveer 2500 voor Christus gebouwd en ligt in de buurt van Cairo. De piramide is 242 meter breed en 142 meter hoog en bestaat uit minstens 2,3 miljoen kalkstenen blokken van een kubieke meter. De blokken zijn elk zeker 2300 kg zwaar. Toch wisten de Egyptenaren de piramide in minder dan 25 jaar tijd te bouwen. Dit is erg kort, zeker als je bedenkt dat in die tijd het wiel nog niet was uitgevonden. Demortier contrasteert dit met de tempel van Ramesseum die gebouwd is rond 1700 voor Christus, ten tijde van het ‘nieuwe koninkrijk’. Aan deze tempel van 250 bij 170 meter en 20 meter hoog is maar liefst 130 jaar gewerkt. De efficiëntie lijkt met sprongen achteruit te zijn gegaan.

Daarnaast is ook de uniforme kleur van de piramide opvallend. De grond waaruit kalksteen wordt opgegraven, heeft namelijk meerdere lagen en elke laag

heeft een andere kleur. Ook de vorm van de blokken roept vragen op. De boven- en onderkant zijn helemaal vlak, maar de zijkanten zijn niet vlak en sluiten toch perfect op elkaar aan. Dit is opvallend, want het zou betekenen dat de Egyptenaren elk blok heel precies zouden moeten hakken, maar in die tijd hadden de Egyptenaren alleen maar primitief koperen gereedschap dat te zacht was voor dit doeleinde. De structuur van de blokken is ook vreemd; bovenin hebben ze een kleinere dichtheid dan onderin, en ze bevatten luchtbelletjes en hier en daar kleine vezels. Dit zou niet mogen voorkomen in gesteente dat miljoenen jaren in de grond zat.

Professor Demortier verklaarde in zijn lezing dat de blokken waarschijnlijk helemaal niet naar boven zijn gedragen, maar ter plekke zijn gefabriceerd. Hij baseert zich hierbij op een theorie van Joseph Davidovits.



Als gegoten

De theorie is dat een mengsel in een mal werd gegoten en dat dit dan uithardde, vergelijkbaar met hoe wij nu cementblokken maken. Het mengsel dat de Egyptenaren gebruikten zouden hebben, bestond uit water, kalk(steen) en silt (een soort sediment). Er werd water en silt uit de Nijl gehaald en kalksteen werd in de buurt van de piramide opgegraven. De Egyptenaren brachten al deze grondstoffen naar de bovenkant van de piramide. Daar werden alle stoffen gemengd in een grote bak. Hierdoor is de kleur van alle blokken ongeveer hetzelfde. Als een deel van het water verdamt was, bleef er een mengsel over dat de vervormbaarheid van klei had. In deze toestand werd het mengsel in een mal gestopt. De mal bestond uit houten wanden en al geplaatste stenen. Hierdoor sloten de stenen goed op elkaar aan. Terwijl het materiaal in de mal gestopt werd, werd het aangestampt. Als de mal vol zat, was het wachten tot de rest van het water verdamt was. Vervolgens werden de wanden eraf gehaald, waarbij vaak wat steen werd meegenomen. Dit verklaart natuurlijk meteen waarom de blokken aan de zijkant een onregelmatige vorm hebben.

Meer bewijzen

Er zijn meer bewijzen voor deze theorie gevonden. De muren van de gangen in de piramide hebben alleen holtes, geen uitstulpingen. Dit is op dezelfde manier te verklaren als de onregelmatige vlakken van de stenen; als het hout, dat voor de mal gebruikt werd, eraf gehaald werd, brokkelde er steen af. Verder is er een steen uit 2000 voor Christus genaamd Irtyzen Stele gevonden. Dit is een grafsteen met een autobiografie erop van een bouwmeester van de priesterkaste. Op de grafsteen stond dat deze man het geheim van het maken van beelden kende. Hij maakte eerst een mal en goot daar de grondstof in.

Knoflook in het mengsel

Demortier vermoedt dat in het mengsel dat gebruikt was ook knoflook en uien zaten. Er zijn namelijk hiërogliefen gevonden waarop staat dat er veel knoflook en ui werd ingekocht, meer dan de hoeveelheid die nodig was om te eten. Ook bleek in het gesteente van de piramides arseen te zitten, het stofje dat knoflook zijn herkenbare geur geeft.



Links: Het beeld van farao Khefren. Rechts: De Irtyzen Stele steen die nu in Het Louvre staat.

Er zijn meer werken gevonden in Egypte waarvan het waarschijnlijker is dat ze in een mal zijn gegoten dan uit steen gesneden. Voorbeelden zijn de vazen in de trappiramide in Sakkara. Deze zijn van een heel sterk mengsel van leisteen en dioriet gemaakt, waardoor het onmogelijk is om er met het koperen gereedschap van de Egyptenaren in te snijden. Verder is er geen enkel teken dat er met gereedschap in gesneden is. Om dezelfde reden werd er al in de 19^e eeuw gespeculeerd dat het diorieten standbeeld van farao Khefren gegoten moest zijn.

Eigenlijk heeft Demortier alleen maar allemaal feitjes en bewijsjes gegeven. Maar hoewel elk feit op zich niet echt indrukwekkend is, is alles bij elkaar toch heel overtuigend en heeft het ons in ieder geval een geheel andere kijk op de bouw van de piramides gegeven. •

TMC Physics

"The only way of testing the limits of the possible is to venture beyond into the impossible". Arthur C. Clarke

Looking for a challenging job in the high-tech industry?

TMC Physics, is a "House of Physics" which undertakes projects within the entire Physics discipline. Our "Employeneurs" (of which 90% academics) execute on-site projects for various top-500 multinationals.

As the industrial partner that combines Research & Development, TMC offers physicists challenging projects, combined with our career coaching and profit sharing.

For further information, contact Bert Tinge M.Sc.:
+31(0)40 239 22 60, bert.tinge@tmc.nl or www.tmc.nl

DOOR SAMUEL HOEKMAN

In de vorige Periodiek heb je al kunnen lezen over *Das Gesellschaft für Schwerionenforschung*, het GSI in Darmstadt. Het GSI doet onderzoek naar zware ionen met een deeltjesversneller. Het onderzoek aldair richt zich niet alleen op het fundamentele atomaire vlak, maar ook op de biofysica en het ontwikkelen van een nieuwe kankertherapie met zware ionen. En dat laatste is een interessant onderwerp.

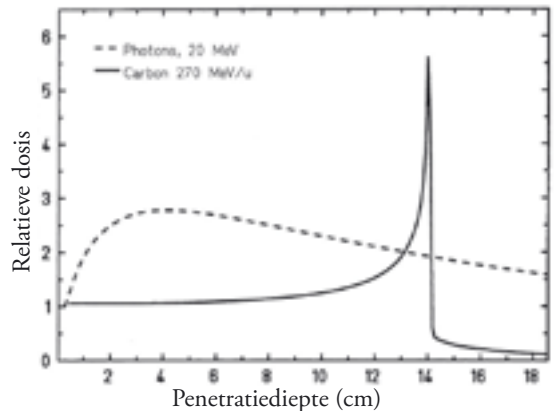
Bij het GSI is men momenteel bezig met de doorontwikkeling van de techniek die zware-ionen-therapie heet. Deze therapie is het gericht bestralen van tumoren met zware ionen (zwaardere atomen met een elektronentekort) zoals koolstof in de vorm van ^{12}C . Het blijkt dat bestralen met zware ionen een aantal voordelen heeft ten opzichte van het conventionele bestralen. Ten eerste is het mogelijk om een tumor op een grotere diepte te bestralen. Ten tweede wordt de dosis veel gericht toegediend en tot slot is er een verhoogde biologische effectiviteit wanneer weefsel bestraald wordt met ^{12}C . In de praktijk wordt er naast koolstof ook gebruik gemaakt van waterstof zonder elektron (proton). Deze deeltjes worden in de therapie versneld tot zo'n 50 procent van de lichtsnelheid.

Stralingstherapie

De conventionele manier van externe tumorbestrijding is om weefsels aan een flinke portie ioniserende straling bloot te stellen. Dit wordt extern genoemd, omdat de tumordodende straling van buiten het lichaam komt. Het principe werkt als volgt. In een lineaire versneller worden fotonen opgewekt met energieën van 4 tot 25 MeV. Bij deze vorm van fotonenstraling, röntgenstraling, neemt de dosis (zie kader) die in het weefsel aankomt gedurende de eerste paar centimeter toe. Vanaf een bepaalde diepte neemt de energie echter lineair af, zie hiervoor figuur 1.

De dosis

De definitie van dosis is de (stralings)energie die een lichaam per eenheid massa ontvangt. De eenheid van dosis is de Gray en dat is in S.I.-eenheden gelijk aan Joule per kilogram. In nucleaire fysica wordt voor energie ook wel de elektronvolt (eV) gebruikt. Een elektronvolt komt overeen met $1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}$.



Figuur 1

Een tumor (*target*) die dieper in het lichaam zit, zal een lagere dosis ontvangen. De verhouding tussen de dosis en de locatie waar de dosis aan afgegeven wordt, wordt de dosis/diepte-ratio genoemd.

Bestraling met zware ionen geeft een andere dosis/diepte-ratio. In de eerste centimeters van het bestraalde object geven de ionen een relatief lage dosis af. Vlak voor de maximale penetratiediepte van de straling is er een zeer steile toename van dosisafgifte. Dat maakt deze vorm van bestraling dus zeer geschikt voor het bestralen van diep gelegen targets.

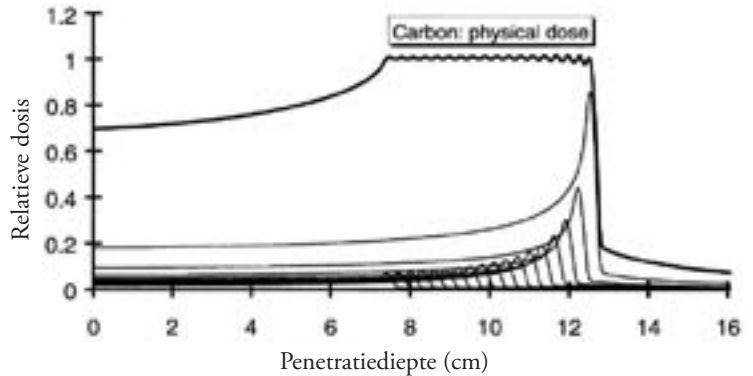
Braggcurve

Welke theorie ligt nu ten grondslag aan deze bestralingsmethode met zware ionen? De afname van ioniserende stralingsenergie is grafisch weer te geven in de Braggcurve. De curve geeft de energieafgifte weer van ioniserende straling die door materie heen gaat. In figuur 1 staan grafieken voor fotonen en zware ionen die door materie heen gaan. De piek die te zien is bij koolstof heet de Braggpiek en treedt op vlak voordat



William Bragg

Fysicus Sir William Henry Bragg (1862-1942) ontdekte de Bragg-curve in 1904 en publiceerde in het 'Philosophical Magazine' een artikel getiteld 'On the ionization of curves of Radium'. Het artikel ging over een experiment, waarin aan de ionisatie van lucht door alfa-deeltjes gemeten is, op verschillende afstanden van een blok stralingszout, in dit geval radium. Het experiment toonde aan dat de ionisatie van een alfa-deeltje efficiënter is aan het einde van zijn traject. Tot die publicatie ging men ervan uit dat de ionisatie exponentieel afnam.



Figuur 2: Verschillende Braggpieken bij elkaar opgeteld.

de ioniserende straling aan het einde van zijn traject komt. In figuur 1 kun je zien dat het met zware ionen mogelijk is om op bepaalde diepten een effectieve dosis op een target af te geven. De afstand waarop de dosis effectief is neemt toe naar mate de stralingsenergie toeneemt.

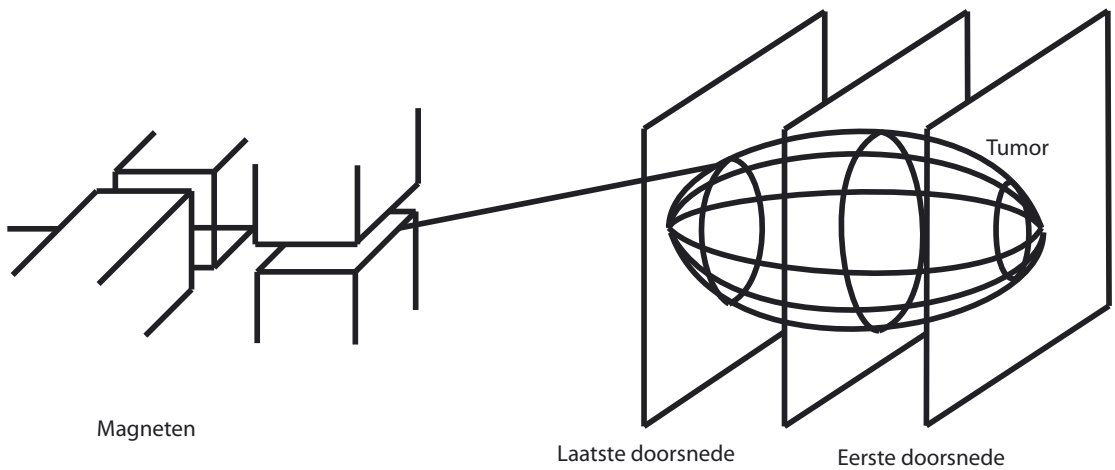
Omliggende weefsels

Het is mogelijk om zeer gericht te stralen met zware ionen. Ook dit heeft weer met de Braggpiek te maken. In figuur 1 zag je al hoe de eerste tientallen centimeters van een bestraald volume een lage dosis ontvangen, vervolgens de Braggpiek verschijnt en daarna de stralingsenergie wegvalt. Bovendien is de breedte van een dergelijke piek slechts enkele millimeters. In de praktijk komt het erop neer dat, wanneer er op een handige manier met de juiste energie en hoek bestraald wordt, het mogelijk is om het omliggende weefsel rond een target te besparen.

Om een target met een volume van enkele kubieke centimeters effectief te bestralen, is één Braggpiek echter niet voldoende. Om toch een bepaald volume te kunnen bestralen, worden verscheidende zware-ionstralen bij elkaar opgeteld. De stralen verschillen in stralingsenergie. Deze methode levert een aantal Braggpieken naast elkaar op zoals te zien is in figuur 2. De afstand tussen de individuele pieken is de helft van de breedte van de Braggpiek. Hiermee wordt in de praktijk dus een brede Braggpiek gecreëerd.

Invloed van de deeltjes

Zware ionen hebben een andere wisselwerking met weefsel dan fotonen. Vanwege de lading van de ionen zijn het vooral elektronen in het bestraalde weefsel waarmee de ionen interactie mee hebben. Omdat de ionen in eerste instantie een hoge snelheid hebben, zal de afgifte van energie in het begin klein zijn, omdat daarvoor te weinig tijd is. Maar wanneer de



Figuur 3: Principe rasterscanning

diepte toeneemt, neemt ook de interactie toe. Dit veroorzaakt de zogenaamde Braggpiek. Bovendien ioniseren ionen met een groter aantal protonen (Z) beter. De ionisatie-energie per eenheid penetratiediepte is namelijk evenredig met Z^2 . Een standaard koolstofionenstraal bij medische behandelingen bevat een tot 10 miljoen ionen, waar de straal bij behandeling met protonen wel 100 keer zoveel ionen bevat.

Rasterscantherapie

In de praktijk maken de meeste faciliteiten gebruik van passieve methoden om te bestralen. Kort door de bocht gezegd wordt er bij deze manier van bestralen geen rekening gehouden met het volume van de target. Bij het GSI wordt hier rekening mee gehouden. Met geladen ionen is het namelijk heel goed mogelijk om een 3D 'beeld' van een target te maken. Men spreekt dan van een actieve methode van bestralen. Dit principe wordt *rasterscan* genoemd.

Een schematische weergave is in figuur 3 te zien; een zware-ionenstraal gaat zowel door een horizontaal, als een verticaal magnetisch veld. Het volume van de target wordt opgedeeld in verschillende lagen van enkele millimeters dik. De lagen zelf worden weer opgedeeld in een pixelrooster en de straal bestraalt rij voor rij deze pixels.

PET-scanning

Met Positronenemissietomografie (PET) is het mogelijk om met een speciale camera een driedimensionaal beeld te vormen van de verdeling van een radioactief isotoop in een weefsel. De enige voorwaarde is dat dit isotoop positronen (positieve elektronen) moet produceren. Daar de dracht (afstand dat het positron aflegt in het weefsel) klein is, komt het positron tot stilstand in het weefsel en vormt daar een positronium. In een positronium zitten een elektron en positron in elkaars elektrisch veld gevangen,

zoals een proton en een elektron in een waterstofatoom. Na ongeveer 100 ns treedt annihilatie op: de massa van het positronium wordt omgezet in energie. Aangezien het positronium stil stond ten opzichte van de omgeving, worden vanwege impulsbehoud twee fotonen in tegengestelde richting uitgezonden. In een ring met detectoren kunnen deze loodrechte fotonen gedetecteerd worden. Uit het tijdsverschil tussen de detecties kan de positie van de annihilatie berekend worden.

Visualisatie van het bestralingsproces

Met behulp van PET-scans is het mogelijk het bestralingsproces nauwlettend in de gaten te houden. Gedurende het bestralingsproces zal in het traject van de ionstraal een klein percentage van de ionen een nucleaire reactie aangaan met bijvoorbeeld zuurstof in de vorm van ^{15}O . Dit leidt tot een instabiel kool-

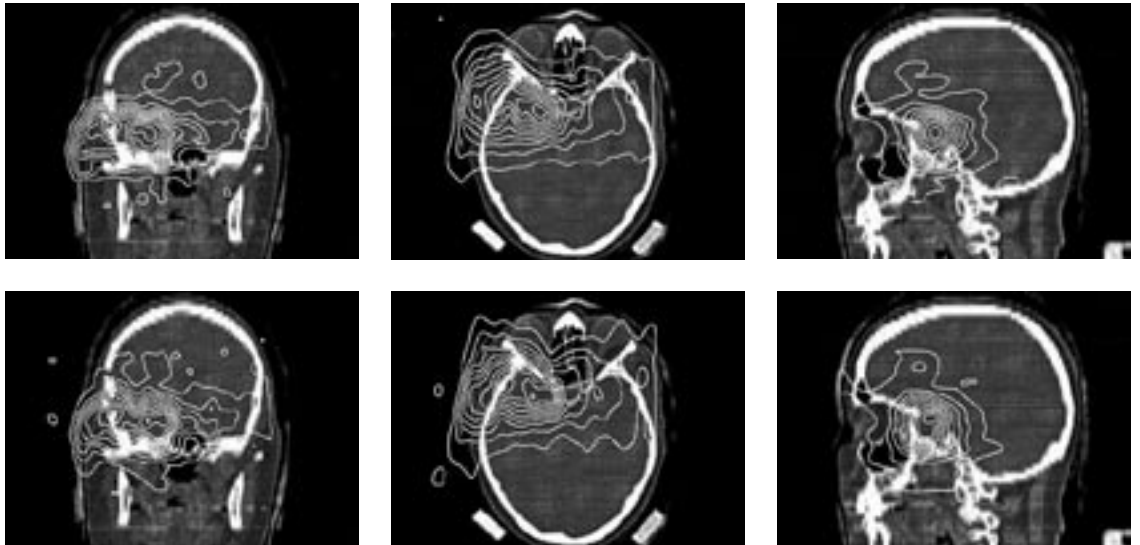
stofisotoop dat een positron uitzendt, dat met behulp van een PET-scanner opgespoord kan worden. PET-scans geven ook duidelijk weer dat er geen omliggend weefsel getroffen wordt door de ionstraling. Zoals te verwachten is de resolutie van bestraling met koolstofionen groter dan van protonen.

Bij bestraling wordt er een PET-scan gemaakt, die bij vervolgbehandelingen helpt bij meten van de voortgang en vermijden van belangrijke organen. Op het GSI stellen ze voor iedere behandeling een behandelplan op, waarin ook simulatie van de PET-scan is inbegrepen. Het blijkt dat de simulatie goed overeenkomt met hetgeen werkelijk gemeten wordt. Zie figuur 4.

Een goede stap

Hoewel de theorie er al vanaf het begin van de twintigste eeuw was, kon pas vanaf december 1997 met deze techniek gewerkt worden op het GSI. Het project heeft een kleine tien jaar geduurd en daarbij zijn meer dan 340 personen met koolstofionen behandeld. Na afloop van het project werden de resultaten veelbelovend genoemd. Op het GSI zijn echter onvoldoende personen behandeld om statistische correcte uitspraken te doen. Op het NIRS (National Institute of Radiological Sciences) te Japan

zijn meer mensen behandeld en de statistieken van dit onderzoek duiden op een betere tumorbestrijding dan met conventionele straling. Nu meer instituten bezig zijn met het onderzoek en er natuurlijk steeds betere faciliteiten zijn, lijkt er een goede stap in het onderzoek naar kankerbestrijding gezet te zijn. •



Figuur 4: Vergelijking van de verdeling van positronuitstoot. Links de verdeling bij een simulatie en rechts de verdeling bij een echte meting.



GEEN ERVARING GEZOCHT!

Geen ervaring, maar wel affiniteit met ICT?



Ga dan naar www.ordina.nl/oracle
voor meer informatie over werken bij Ordina.

ORDINA. OPGELOST.
CONSULTING | ICT | OUTSOURCING



Moleculaire chips

DOOR MARK IJBEMA EN MARTEN VELDTHUIS

Terwijl we in de krant lezen dat Intel weer een nieuwe hippe technologie heeft om processoren nog kleiner te krijgen, worden in Groningen pas echt baanbrekende edge technieken ontwikkeld. Prof. Wim Hesselink van de vakgroep Fundamentele Informatica doet met scheikundigen en natuurkundigen interdisciplinair onderzoek naar moleculaire computers. Het resulterende artikel is zover zijn tijd vooruit, dat geen enkel tijdschrift zijn handen ervoor heeft durven branden. De perio grijpt zijn kans, en brengt je deze primeur.

Professor Hesselink werkt aan de implementatie van schakelingen met behulp van moleculen. Die schakelingen zouden we dan weer kunnen koppelen en zo zouden we een computer kunnen maken met moleculen. Dit zou ons significant snellere en kleinere computers opleveren.

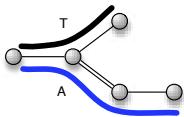
Het idee achter deze techniek is ontwikkeld door Marleen van der Veen. In haar proefschrift ' π -logic' beschreef ze hoe je op basis van moleculen schakelingen kan maken. Via Gerard Renardel de Lavalette kwam Wim Hesselink in contact met dit onderzoek. Waar Marleens proefschrift het probleem bottom-up vanuit de scheikunde benaderde, bekijkt Hesselink de zaak top-down vanuit de wiskunde. Wanneer je een nieuwe wiskundige theorie ontwikkelt is het namelijk belangrijk dat je de begrippen goed definieert. Met zijn onderzoek heeft Wim nu de basis gelegd om verder redeneren over moleculen als schakelingen mogelijk te maken. Hiertoe heeft hij veel samengewerkt met de promotors van Marleen, Kees Hummelen van scheikunde en Harry Jonkman van natuurkunde.

Moleculaire schakelingen

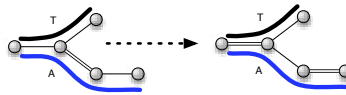
Het globale idee is dat je gebruik maakt van de enkele en dubbele bindingen van polycyclische koolwaterstoffen. Zo'n molecuul kan zich in meerdere toestanden bevinden en zal zich afhankelijk van zijn toestand an-

ders gedragen. Om het rekenen aan de moleculen te vereenvoudigen, representeert Professor Hesselink moleculen door grafen. Een graaf is niets anders dan een set punten met lijnen hiertussen. Om een graaf van een koolwaterstofmolecuul te maken, laten we alleen de koolstofatomen en bindingen zien. De waterstofatomen worden genegeerd en we tekenen een dubbele lijn voor de dubbele binding (eigenlijk worden de dubbele bindingen gerepresenteerd door een subgraaf). Door de stap naar grafen te maken bevinden we ons op bekend wiskundig gebied. Helaas blijken de meeste stellingen uit de graaftheorie niet van toepassing, waardoor we alsnog nieuwe stellingen moeten bedenken.

Hoe kun je de moleculen nu gebruiken als schakeling? Het basisidee is dat je een stroompje door het molecuul laat lopen. Of er echt een stroompje kan lopen van het ene uiteinde van het molecuul naar het andere, hangt af van de interne configuratie. Het blijkt dat dit alleen mogelijk is wanneer het langs een alternerend pad van dubbele en enkele bindingen kan lopen. Zo kan er dus een stroompje lopen door pad A, maar niet door pad T (zie plaatje).



Iedere keer dat er nu een stroompje gaat lopen, zal elke binding in het pad omklappen. Dubbele bindingen worden enkele bindingen en andersom. Dit betekent dus dat je wel kunt achterhalen wat de interne toestand is van het molecuul, maar deze ook direct aanpast. Wanneer we bijvoorbeeld testen of pad A open is, gaat pad T van dicht naar open:



Je kunt dus alleen destructief lezen, wat gebruik van deze moleculen ingewikkelder maakt. Door slimme keuze van moleculen hopen we logische operatoren op booleans te kunnen implementeren. Maar wellicht is het niet handig om een heleboel grafen te gaan maken en te zien wat deze doen. Je zou liever willen zeggen wat voor operatie je wilt implementeren, en daar dan een graaf met bijbehorend molecuul bij te genereren.

Professor Hesselink is nu bezig met te onderzoeken of dit kan. Hiertoe introduceert hij het concept van Kekulécellen. Bij een Kekulécel kijken we alleen naar de uiteinden van de graaf, dus de punten die maar met een ander punt zijn verbonden. Deze uiteinden noemen we poorten. Poorten zijn interessant omdat dit de punten zijn waartussen je kunt testen of er een pad loopt. De Kekulécel van een graaf is een soort beschrijving van het gedrag van de poorten van de graaf.

De vraag is nu of bij een gegeven gedrag van poorten ook een bepaalde graaf te vinden is. Dit blijkt in ieder geval niet eenvoudig. Wel heeft Professor Hesselink een criterium ontwikkeld om te kijken of de graaf van een bepaalde Kekulécel een boom is, met andere woorden, een graaf waarin je geen rondjes kunt lopen. De verdere relatie is helaas nog niet helemaal duidelijk. Hier zit zeker nog een hoop leuk graaftheoretisch onderzoek in.

Stel dat we er nu in slagen zo'n vertaling van Kekulécellen naar grafen te maken. Dan zouden we dus opera-

toren op bits kunnen definiëren. Als we die koppelen, kunnen we hiermee een computer maken. Al met al veelbelovend onderzoek dus!

Publicatie

Helaas heeft baanbrekend onderzoek niet alleen voordelen. Wim Hesselink is er nog niet in geslaagd zijn paper gepubliceerd te krijgen. De natuurkundigen vinden het te speculatief, de scheikundigen willen experimenten zien en de informatici kunnen het moeilijk beoordelen. Om in ieder geval iedereen van de correctheid van het model te overtuigen heeft Hilverd Reker, student informatica, voor zijn vierdejaarsonderzoek de belangrijkste stellingen uit het artikel bewezen, met behulp van een geautomatiseerde stellingbewijzer. Omdat het artikel nog niet gepubliceerd is, en de wereld natuurlijk wel op de hoogte gehouden moet worden van dit Groningse revolutionaire onderzoek, heeft Wim Hesselink het online gepubliceerd op arXiv (www.arxiv.org).

De vraag blijft natuurlijk of het mogelijk is om daadwerkelijk stroompjes door moleculen te sturen. Ook zal niet elke staat van zo'n molecuul even stabiel zijn. Tenslotte is het ook nog niet zeker of, als we al zulke moleculen kunnen implementeren, we ze ook kunnen koppelen en een computer kunnen bouwen. Hier ligt dus nog volop werk voor natuur- en scheikundigen.

Als het echter lukt, dan kunnen we er zeker van zijn dat dit ons extreem veel kleinere en snellere computers oplevert. •



PA
EN NA
GA IK BIJ
WERKEN
WEBSIDH
MET OP



Werk is niet het eerste waar je aan denkt als je op de bonnefooi je vakantiebestemming probeert te bereiken. Behalve als je werkt voor het Centrum voor ICT van de Belastingdienst. Dan kan het enthousiasme over je nieuwe werkzaamheden wel eens net zo groot blijken te zijn als het enthousiasme over je nieuwe reis.

Zo gek is dat niet, als je bedenkt wat wij allemaal realiseren. Binnen één van de meest complexe ICT-omgevingen van Nederland verzorgen we de volledige technische infrastructuur achter de heffing, controle en inning van belastingen. En zijn we inmiddels ook verantwoordelijk voor de uitbetaling van toeslagen.

Omdat onze toepassingen een publiek van 16 miljoen Nederlanders bereiken, is het bijna onvermijdelijk dat er ook wel eens iets fout gaat. Juist omdat we ons ervan bewust zijn dat zelfs het allerkleinste foutje grote consequenties kan hebben, zijn we continu bezig onze dienstverlening te optimaliseren. Voor onze medewerkers brengt dat inhoudelijk interessante werkzaamheden met zich mee. Zo werken we bijvoorbeeld aan innovatieve Websphere-oplossingen met behulp van open source software.

Werken als ICT'er bij de Belastingdienst betekent werken met ongekende mogelijkheden. In je werk, waar je in een vooruitstrevende werkomgeving optimaal kunt presteren. Maar ook voor jezelf, in vrijwel elke gewenste richting op het gebied van ICT.

Wil je meer weten over een loopbaan als ICT'er bij de Belastingdienst?

Kijk dan op www.belastingdienst.nl/ict.

**Belastingdienst
Centrum voor ICT**

**Werk waar je
trots op bent**

22 | De statistiek van Lucia de Berk

DOOR CORINE MEINEMA, MARK IJBEMA EN WILLEM HENDRIKS

Het is 6 september 2001. Ziekenhuisdirecteur Smits besluit de politie in te schakelen, een persbericht uit te brengen en brieven aan de ouders van de overleden kinderen te schrijven. De kinderen zouden zijn vermoord door Lucia de Berk. Smits heeft dit immers zelf berekend: de kans op het toevallig overlijden van de patiëntjes was één op zeven miljard. De media roept haar uit tot de Engel des Doods. De heksenjacht op Lucia de Berk wordt geopend.

Lucia werd aangeklaagd en veroordeeld voor drie-voudige moord en viervoudige poging tot moord. Ze zou haar patiënten hebben vermoord door een toediening van een overdosis slaapmiddelen of gif. Ze was alleen veroordeeld voor de doden waarbij ander bewijs aanwezig zou zijn, of die niet medisch te verklaren waren. Maar haar schuld hing vooral op dat de kans dat zij telkens toevallig dienst had tijdens de incidenten extreem klein was. Daarnaast was er een getuige die haar had horen zeggen dat ze dertien mensen uit hun lijden had verlost.



Lucia de Berk is zeker geen doorsnee vrouw. Ze werkte ooit als prostituee, gedwongen door een loverboy, las over seriemoordenaars en schreef bizarre dingen in haar dagboek. Ze kwam uit een arm gezin dat naar Canada verhuisde om het huwelijk te redden. Dat lukte niet, en moeder en kinderen moesten leven op voedselbonnen. Toen Lucia nog bij haar ouders woonde, brandde haar huis af. Lucia was de hoofdverdachte, maar de oorzaak bleek kortsluiting te zijn. Om in Nederland toegelaten te worden tot de verpleegstersopleiding had ze haar schooldiploma vervalst. Toen ze aan haar opa's ziekbed verzuchtte "Waarom mag ik dit niet afmaken?", werd ze opgepakt. Er was onenigheid in het ziekenhuis waar ze

als laatste had gewerkt en dit werd uitgelegd alsof haar collega's niet met Lucia konden opschieten. Nooit heeft Lucia echter een serieuze misdaad gepleegd, maar ze had duidelijk alle schijn tegen zich.

Op 18 juni 2004 is Lucia de Berk door het gerechtshof in Den Haag in hoger beroep veroordeeld tot levenslange gevangenisstraf en TBS met dwangverpleging, voor zeven moorden en drie pogingen tot moord. Levenslange gevangenisstraf mét dwangverpleging, aangezien gewaarborgd moest worden dat Lucia de Berk niet na eventuele gratie onbehandeld weer in de samenleving terug kon keren. Het 'bewijs' berustte op de onwaarschijnlijk kleine kans van toevallig overlijden van patiënten tijdens Lucia's dienst en medisch 'bewijs' van de onnatuurlijke doodsoorzaken van de patiënten. De getuige uit de eerste rechtszaak had zijn eigen verklaring ingetrokken.

De Hoge Raad besliste 14 maart 2006 dat de combinatie levenslange gevangenisstraf en TBS niet kon. Alle andere klachten, waaronder die over de bewijsvoering, werden verworpen. Kort hierna kreeg Lucia een herseninfarct, en werd opgenomen in het ziekenhuis van de gevangenis. Op 13 juli 2006 werd ze opnieuw tot levenslang veroordeeld. Hard bewijs, getuigen en een motief ontbraken.

Donald Uges, UMCG-hoogleraar klinische en forensische toxicologie, verklaarde onlangs dat de digoxinevergiftiging waarvan werd gesproken niet bewezen kan worden. Hiermee staat het medische bewijs wankel, ook andere medici hebben zich over de zaak uitgesproken in voordeel van Lucia.

Statisticus Henk Elffers, die zich op aanvraag van de publieke aanklager heeft beziggehouden met de statistiek van deze zaak, berekende dat de kans dat een onschuldige verpleegster zoveel incidenten heeft bijgewoond één op 342 miljoen was. Maar Elffers sloeg de plank goed mis, wat hij later zelf ook schoorvoetend toegaf.

Elffers' methode

Elffers gebruikte enkel de volgende data in zijn berekening:

	Afdeling 1	Afdeling 2	Afdeling 3
Totaal aantal diensten	1029	336	339
Dagen dat Lucia dienst had	142	1	58
Aantal incidenten	8	5	14
Incidenten op dagen dat Lucia dienst had	8	1	5

Hier beging hij al zijn eerste fout. Alle beschikbare gegevens over Lucia zouden gebruikt moeten worden, niet alleen de gegevens die Lucia verdacht maken. Ook zijn de gebruikte gegevens niet helemaal correct: het aantal dagen dat Lucia dienst had op afdeling 2 bleek later drie, en niet één.

Voor zijn model gebruikte Elffers de volgende aannames: de kans op een ongeluk is altijd gelijk, of het nu dag of nacht is, en alle ongelukken gebeuren onafhankelijk van elkaar. Hiervan uitgaande is de kans dat Lucia per toeval aanwezig zou zijn bij alle ongelukken te berekenen met de hypergeometrische verdeling die hoort bij het volgende vaasmodel: Gegeven een vaas met N knikkers, waarvan R rood zijn en $N - R$ wit. Te berekenen de kans om bij een trekking van n knikkers, zonder terugleggen, r rode te trekken. De kans $P(n, r)$ kan nu als volgt berekend worden:

$$P(n, r) = \frac{\binom{R}{r} \binom{N-R}{n-r}}{\binom{N}{n}}$$

Elffers paste dit model toe, door het totaal aantal diensten als het aantal knikkers in de vaas te zien ($N = 1029$) en het aantal ongelukken als het aantal rode knikkers ($R = 8$). Een trekking van $n = 142$ met $r = 8$ geeft ons de voorwaardelijke kans dat alle ongelukken plaatsvonden tijdens de diensten van een specifieke verpleegster, onder de voorwaarde dat er 142 diensten gedraaid zijn bij een totaal van 1029 diensten, waar 8 ongelukken hebben plaatsgevonden.

De gevonden uitkomst vermenigvuldigde Elffers met de correctiefactor 27, het aantal zusters werkzaam op de afdeling. We zijn immers geïnteresseerd in de kans dat

een willekeurige zuster zich in deze situatie bevindt, niet Lucia de Berk specifiek. We hebben zo alleen de data van de eerste afdeling gebruikt voor onze berekening.

Dergelijke berekeningen paste Elffers toe voor de overige twee afdelingen. Lucia is al verdacht op dit moment, en daarom wordt de bovengenoemde correctiefactor niet meer toegepast. Elffers vermenigvuldigde de gevonden waarde van de afdelingen met elkaar en kwam zo tot één op 342 miljoen. Zoals Elffers in het hof zei: "Mijnheer de rechter het is geen toeval: de rest is aan U."

Elffers' fout

Er zijn meerdere bezwaren tegen het model van Elffers. Het grootste bezwaar tegen de methode, is dat hij de data gebruikte om een verdachte te identificeren en dezelfde data hergebruikte voor de berekening. Elffers heeft dit ten dele doorgehad en paste een correctie toe op zijn berekening, de vermenigvuldiging van 27. Elffers beperkte zich hierbij tot alle 27 zusters van de afdeling.

Data dubbel gebruiken is een veelgemaakte fout onder statistici. Waarom dit niet kan, kan duidelijk gemaakt worden aan de hand van de volgende vergelijking. Beschouw een denkbeeldige loterij met 500 miljoen deelnemers. De loterij kent slechts één winnaar, en alle deelnemers hebben gelijke kans om te winnen.

De loterij word gewonnen door G. Geluk te Duckstad. Dit wordt door de inwoners als zeer onwaarschijnlijk gezien. Om dit te toetsen wordt besloten de zaak door een statisticus te laten onderzoeken. De kans dat een specifiek persoon, bijvoorbeeld G. Geluk, de loterij wint blijkt één op 500 miljoen. Omdat iedereen in Duckstad de loterij had kunnen winnen, besluit de statisticus de gevonden waarde te vermenigvuldigen met het aantal inwoners van Duckstad (500). Zo komt hij tot een kans van één op een miljoen, dat iemand in Duckstad de loterij wint, zeer verdacht!

Het moge duidelijk zijn dat zo elke winnaar als verdachte kan worden aangewezen. Ook is het vreemd dat als correctiefactor het aantal personen in Duckstad wordt gebruikt. De statisticus had ook kunnen kiezen voor het aantal inwoners van dezelfde provincie of hetzelfde land als G. Geluk.

Elffers maakte precies dezelfde fout, door de data gebruiken om Lucia als verdachte aan te wijzen en voor de kansberekening. Ook de gebruikte correctiefactor is volledig uit de lucht gegrepen. Maar niet alleen daar gaat het mis: er wordt ook klakkeloos vanuitgegaan dat de relatie tussen een dienst en een incident onder alle mogelijke omstandigheden altijd gelijk is. Maar in de praktijk werken verpleegsters vaak veel diensten achter elkaar en hebben daarna twee weken vrij. Ook komen sterfgevallen voor in clusters, dus hierdoor is de kans groter dat je per toeval in de 'verkeerde' periode dienst hebt. Bovendien werken er meer verpleegsters in drukke periodes, waarin vaak ook meer mensen overlijden.

Beter model

Een logische verbetering zou zijn de data van de eerste afdeling enkel te gebruiken om Lucia de Berk als verdachte aan te wijzen. De overige data kan gebruikt worden voor de statistische berekeningen. Elffers heeft op deze wijze zijn berekening later verbeterd, en kwam zo op een kans van 0,0038; bijna een half procent, dus niet direct verdacht.

Ook andere statistici kwamen met betere modellen. Richard Gill, professor in de statistiek aan de universi-

teit van Leiden, kwam samen met Elffers met een andere berekening op een nieuwe kans, 1 op 50. Met andere methodes, waaronder de Bayesiaanse, zijn waarden gevonden die variëren van 1 op 9 tot 1 op 300.000. Maar zelfs in dit laatste geval zou de kans erg groot zijn dat er iemand in Nederland in een dergelijke situatie terecht komt: er werken tenslotte veel mensen in de zorg.

Geen correcte methode

Een methode die voor deze situatie een eenduidig correct antwoord oplevert bestaat niet. Elk model heeft zo zijn bezwaren. We hebben hier per slot van rekening niet te maken met een som uit een studieboek, waar we met de juiste aannames correcte statistiek op toe kunnen passen, maar met een probleem uit de werkelijkheid.

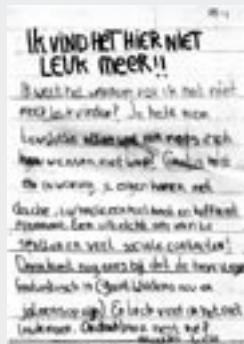
Lucia de Berk kan zeker niet schuldig bevonden worden op statistische gronden. Richard Gill heeft onlangs een petitie gestart die pleit voor heropening van de zaak omtrent Lucia de Berk. Onder andere alle Nederlandse hoogleraren in de statistiek hebben deze petitie ondertekend. De petitie is online te vinden en te ondertekenen op www.ipetitions.com. Op moment van schrijven zit Lucia de Berk nog vast. •

Juni 2004 Het NFI krijgt van een laboratorium in Straatsburg te horen dat van een digoxinevergiftiging (voor het Hof het bewijs dat Lucia baby Amber heeft vermoord) geen sprake kan zijn. Het rapport komt pas in juni 2006 tevoorschijn.

Februari 2006 Hans Crombag (emeritus hoogleraar rechtspsychologie) plaatst vraagtekens bij de veroordeling van Lucia en pleit ervoor dat een onafhankelijke commissie de hele zaak opnieuw bestudeert

Juni 2006 Derksen stelt dat bij de zes maanden oude Amber, die Lucia volgens het hof heeft vergiftigd met het hartmedicijn digoxine, helemaal geen sprake was van een vergiftiging.

Oktober 2006 Toxicoloog Freek de Wolff, die een uiterst belastende getuigenis aflegde tegen Lucia, twijfelt aan de juistheid van haar veroordeling tot levenslange gevangenisstraf.



November 2006 Richard Gill en Peter Grünwald rekenen voor dat er een kans van 1 op 48 is dat een verpleegkundige hetzelfde meemaakt als Lucia. Een nieuwe berekening van Gill (december 2006) komt zelfs uit op een kans van 1 op 9. Ook wijzen ze er op dat er tijdens Lucia's dienstverband juist minder sterfgevallen waren dan anders

Januari 2007 Lucia stuurt een antzichtkaart vanuit haar cel. Een twijfelcommissie van justitie in ons land kijkt of de zaak van de 'moordzuster' moet worden heropend. Elffers, die voor justitie de kans van 1 op 325 miljoen uitrekende, heeft aangegeven dat zijn reken-som niet mag meewegen

Maart 2007 Dirk van der Wedden (arts) stelt in Medisch Contact dat de drie criteria die gebruikt zijn om Lucia te veroordelen, gebruikt kunnen worden om elke huisarts te veroordelen.

DOOR ELLEN SCHALLIG EN MARK IJBEMA

Het is midden in de nacht. Je lag net lekker te dromen, maar opeens klinkt daar gestommel. Sinterklaas? Nee, hij is al weer terug in Spanje. Voorzichtig draai je je om en kijk je op je wekker. 05:00 knippert 'ie. Nu hoor je 't toch duidelijker. Een gebons op de deur zelf. Je doet de deur open. "Zij f een formule, en x een arbitraire variabele..." Dat was het. Je was gisteravond laat op bed gekomen, want je had tot midden in de nacht aan de wiskunde gewerkt met Paul. Je bent aan het dromen. Overduidelijk. "Let je wel op? Goed zij x dus..." Nee wacht. Je bent wel wakker. Het is vijf uur. En Erdős is alweer begonnen, ondanks dat je pas sinds een uur of een sliep.

Zo moeten de dagen voor veel wiskundigen er hebben uitgezien als ze Paul Erdős op visite hadden. Erdős hield ervan om bij wiskundigen op bezoek te gaan om met hen te werken aan verscheidene wiskundige problemen. Zo leverde hij met Selberg een elementair bewijs voor de Priemgetalstelling, iets wat tot dan toe niet voor mogelijk werd gehouden. Ook is hij bekend geworden vanwege het leggen van de fundamenten van Ramsey theory. Erdős is echter voornamelijk bekend vanwege veel resultaten, meer dan hele diepe resultaten. Zo heeft hij 1475 artikelen geschreven – of aan meegeschreven – over diverse wiskundige onderwerpen, allen in hun eigen gebied van groot belang.

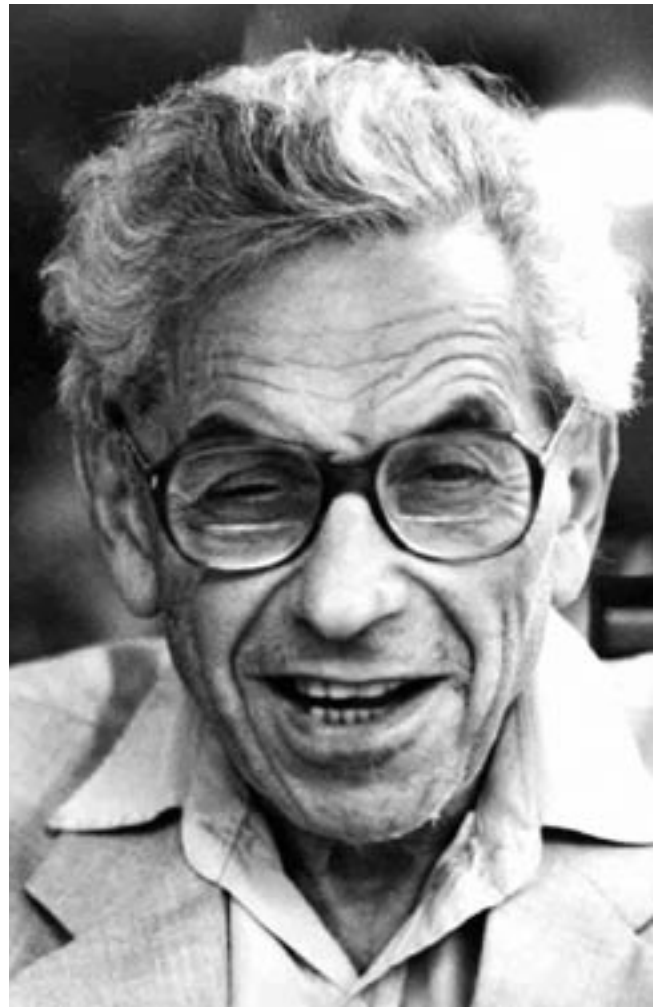
zijn moeder als zijn vader waren wiskundeleraren op de middelbare school.

Erdős heeft echter weinig traditionele educatie gehad, omdat zijn moeder bang was dat hij op school allerlei

Erdős' jeugd

We gaan terug naar Hongarije, anno 1913. Terwijl zijn moeder aan Paul Erdős het leven schonk, overleden zijn twee zussen aan de roodvonk. Opeens had zijn moeder alleen nog maar hem. Geen wonder dat hij zo beschermd opgevoed werd. Hij stond op zijn eenentwintigste flink voor het blok toen hij opeens zijn eigen boterham moest smeren. Dat had hij nooit eerder gedaan. Niet dat hij voor de rest in de keuken wel handig was. Zo vond János Pach in zijn koelkast eens een pak tomatensap met aan de zijkant een gapend gat. Erdős had kennelijk dorst gehad. Maar goed, dit alles was niet echt verbazingwekkend voor iemand die pas op zijn elfde zijn veters kon strikken en tot in zijn tienerjaren gebed en gekleed werd door zijn moeder.

Erdős was een wiskundig wonderkind. Op zijn derde kon hij al drie-cijferige getallen in zijn hoofd vermenigvuldigen en op zijn vierde begreep hij al negatieve getallen. Hij had het ook niet van vreemden, want zowel



Erdősgetallen

Omdat wiskundigen graag met Erdős wilden publiceren, en het ook graag lieten zien als ze met Erdős hadden gepubliceerd, werden midden jaren '60 de Erdősgetallen ingevoerd. Deze getallen zeggen op welke afstand van Erdős je staat wat betreft het publiceren van artikelen. Als je Erdősgetal 1 is, betekent het dat je hebt gepubliceerd met Erdős. Heb je net als Jaap Top een Erdősgetal van 2, dan heb je gepubliceerd met iemand die met Erdős gepubliceerd heeft, etcetera.

Door de toegenomen interdisciplinaire samenwerking is het ook mogelijk geworden voor mensen buiten de wiskunde om een eindig Erdősgetal te krijgen. Zo hebben ook mensen in bijvoorbeeld de geneeskunde of farmacologie al een Erdősgetal weten te krijgen, vaak omdat iemand bij een ander vakgebied heeft gepubliceerd en zo een Erdősgetal naar zijn eigen gebied heeft meegenomen. Zo heeft ook een van de auteurs van dit artikel een Erdősgetal van 5, terwijl hij informatica studeert.

Er is ook een Erdössamenwerkingsgraaf gemaakt. Deze graaf bevat als punten Erdős en de wiskundigen waarmee hij had samengewerkt, en een lijn tussen wiskundigen die samen hadden gepubliceerd. Over deze graaf werden veel papers gepubliceerd, als ware het een echt wiskundig object. Op zeker moment merkte iemand op dat wanneer er een lijn tussen twee punten lag, dit een heel bijzondere eigenschap gaf aan deze twee punten. Om deze eigenschap te bewerkstelligen namen twee nog niet verbonden wiskundigen contact met elkaar op, en publiceerden ze het bewijs van iets triviaals.

Erdősgetallen zijn wel de eerste, maar niet de enige getallen die wijzen op samenwerking met een bepaald persoon. Andere bekende zijn de Bacongetallen, die de afstand tot Kevin Bacon aangeven, maar dan gemeten in samenwerkingen in films. Er zijn zelfs mensen die een Erdős-Bacongetal hebben, omdat ze zowel aan Erdős, als aan Bacon gelinkt zijn. Op het moment is de persoon met het laagst bekend Erdős-Bacongetal Daniel Kleitman, die een artikel met Erdős publiceerde en een Bacongetal van 2 heeft dankzij een bijrolletje in *Good Will Hunting*. Maar dit is natuurlijk geen theoretisch minimum. Als Kevin Bacon nou bijvoorbeeld een artikel zou publiceren met een wiskundige met een Erdősgetal van 1, levert hem dit een Erdős-Bacongetal van 2 op.

enge ziektes op zou lopen. Zij hield hem daarom meestal thuis, waar hij les kreeg van een Duitse gouvernante. Tijdens zijn middelbare schooltijd veranderde zijn moeder om het jaar van gedachten of hij wel of niet naar school mocht. Zo zat hij het ene jaar thuis, en het andere weer op school.

Erdős' familie was Joods, maar voelde zich niet uitgesproken Joods. Toch had hun Joods-zijn voor Erdős een groot probleem kunnen worden. Enkele jaren voor Erdős ging studeren mocht maar zes procent van een universiteit in Hongarije Joods zijn, omdat maar zes procent van de bevolking Joods was. Gelukkig werden winnaars van nationale competities, ongeacht hun religie, tot elke universiteit toegelaten. Hierdoor kon Erdős in 1930 beginnen aan zijn universitaire opleiding wiskunde aan de Pázmány Péter Universiteit in Boedapest. Vier jaar later had hij deze opleiding met een Ph.D. afgerond. Aangezien het politieke klimaat in Hongarije wat te vijandig werd tegenover Joden, ging Erdős voor zijn Postdoc vervolgens naar Manchester. Toen al kon hij niet stilzitten, hij was zelden een week op dezelfde plek. Hij reisde heen en weer tussen Manchester, Londen, Bristol en Cambridge. In de laatste ontmoette hij ook andere bekende wiskundigen als G.H. Hardy en S. Ulam.

Vanwege de dreiging van de Tweede Wereldoorlog zag Erdős zich echter genoodzaakt naar de Verenigde Staten te emigreren in 1938. Hier kreeg hij een baan in Princeton, maar daar kon hij minder lang blijven dan hij hoopte, gezien men hem vreemd en onconventioneel vond. Maar Erdős zelf heeft zijn jaar op Princeton altijd als zijn beste jaar beschouwd. Hier heeft hij twee baanbrekende papers geschreven met M. Kac en A. Wintner. Nadat hij een tijdje zonder werk had gezeten kreeg hij in 1943 een deeltijd aanstelling aan de Purdue University in Indiana. Helaas was hij deze baan na twee jaar weer kwijt. Dit kwam mede omdat hij niet standaard was en niet werkte zoals veel andere wiskundigen.

My Brain Is Open

Erdős had een unieke manier van samenwerken. Hij verzamelde een groep wiskundigen om zich heen en werkte samen met allen. Als een simultaanschaker ging hij van wiskundige tot wiskundige, en boog zich even over zijn of haar probleem, of legde juist een probleem voor. Dit kon hij ook omdat hij zich nooit sterk had gespeciali-

seerd, en dus over velerlei wiskundeproblemen mee kon praten. Ook kon hij altijd goed inschatten wat het niveau van zijn collega's was en welke vraagstukken hen goed zouden liggen.

Een intensievere een-op-een samenwerking vond ook vaak plaats. Soms kwam Erdős onaangekondigd bij een collega langs. Zijn standaard kreet in zo'n geval was dan "My Brain is Open!", waarmee hij zijn hersenen ter beschikking stelde. Voor de rest van de week was de gastheer/-vrouw dan van vijf uur 's ochtends tot één uur 's nachts samen met Erdős bezig met wiskundige problemen. Erdős kwam altijd langs met zijn hele hebben en houden. Zijn hele bezit paste namelijk in de koffer en tas waarmee hij rondreisde; persoonlijk bezit vond hij storend.

Toch interesseerde Erdős zich niet alleen voor wiskunde. Hij had zich vroeger altijd al breed geïntereerd en was goed op de hoogte van politiek, geschiedenis, biologie, medicijnen, etcetera. Ook was hij zeker geen sociaal gestoorde nerd. Hij hield ontzettend veel van kleine kinderen. Zij waren altijd de eersten die hij bij een bezoek opzocht, en de enigen waarnaar hij vroeg in geschreven communicatie. Voor de rest ging het alleen over wiskundige problemen. Erdős had ook een zwak voor mensen die hij als kwetsbaar ervoer. Zo was hij een keer op een feest van een medewiskundige die graag Erdős wilde ontmoeten. Helaas heeft hij hem de hele avond niet gezien. Erdős was er wel, maar hij zat op zolder, bij de blinde vader van de gastheer.

Hij dacht echter niet alleen om de lichamelijke gesteldheid van zijn medemens. Ook dacht hij aan de wiskundige gesteldheid. Zo zocht hij zieke collega's op om ze bij te staan met wiskundige vraagstukken om hun wiskundig niveau op peil te houden.

Supreme Fascist

Sinds Erdős in zijn jeugd op een onprettige manier met het fascisme had kennisgemaakt, duidde hij alles wat hij vervelend vond aan met fascist. Zelfs katjes met scherpe nagels werden fascisten. Maar de ergste van alle vond hij toch wel de Supreme Fascist, waarmee hij God aanduidde. Hoewel hij niet geloofde, gebruikte hij de Supreme Fascist (SF) op dezelfde manier als waarop Einstein het over God had, dus als abstract begrip om de wereld te

verklaren. Hij dacht dat de SF mensen had gemaakt om te genieten van hun lijden en vond dat doodgaan de beste manier was om hem te tarten.

Ook dacht Erdős dat de SF al had bepaald wanneer hij zou sterven. De SF zou een balans hebben met aan de ene kant publicaties van Erdős met levende collega's en aan de andere kant de publicaties met dode collega's. Zodra de balans naar de kant van de doden zou doorslaan, zou Erdős ook moeten sterven.

Een ander idee van Erdős waarin de SF voorkwam was Het Boek. Volgens Erdős had de SF een transfiniet Boek met daarin de beste bewijzen van alle wiskundige stellingen, allemaal elegant en perfect. Het grootste compliment dat Erdős aan het werk van een collega kon geven, was zeggen: "It's straight from the Book."

Eigen taal

Erdős had een eigen taal ontwikkeld. Zo noemde hij kinderen epsilons, naar de epsilon (kleine hoeveelheid) in de wiskunde. Vrouwen noemde hij bazen, en mannen waren slaven. Kinderen waren allemaal bazen. Toen hem een keer werd gevraagd wanneer een mannelijke epsilon een slaaf werd, antwoordde Erdős: "Zodra hij achter bazen aan gaat lopen." Zo noemde hij getrouwde mensen gevangen, en gescheiden mensen waren bevrijd. Muziek werd herrie en alcohol was vergif. Als Erdős dus om een epsilon vergif vroeg, vroeg hij eigenlijk om een kleintje cognac. Als hij een wiskundelezing gaf, was hij aan het preken. Als een persoon volgens Erdős doodgegaan was, was hij gestopt met wiskunde bedrijven, maar als hij weggegaan was, was hij gestorven.

P.G.O.M.L.D.A.D.L.D.C.D.

Erdős had altijd al een fascinatie met de dood. Toen hij vier was, bedacht hij zich al dat hij dood zou gaan. Vanaf zijn vijftigste had hij besloten dat hij eigenlijk allang dood had moeten zijn. Zo begon hij belachelijke bijnamen voor zichzelf te bedenken. Hij begon met Poor Great Old Man, en voegde daar elke vijf jaar iets aan toe. Zo werd het uiteindelijk Poor Great Old Man, Living Dead, Archeological Discovery, Legally Dead, Counts Dead.

Dit alles weerhield hem niet van het bedrijven der wiskunde. Zelfs toen hij zeventig was, publiceerde

Ramsey Theory

Ramsey Theory is het vakgebied dat de condities bestudeert waaronder orde moet verschijnen. Ramsey Theory zegt heel in het kort dat complete wanorde niet bestaat, altijd is ergens wel iets van orde te ontdekken. In Ramsey Theory is het probleem vaak als volgt: hoeveel elementen van een bepaalde structuur heb je nodig om een zekere eigenschap te krijgen?

Stel bijvoorbeeld dat er m nesten zijn en n duiven in die nesten. Hoe groot moet n dan zijn voordat we zeker weten dat er twee duiven in een nest zitten? Dit is een toegepast voorbeeld van Ramsey Theory en het antwoord is natuurlijk dat n groter dan m moet zijn.

Een minder triviaal voorbeeld gaat over een feestje met zes mensen. Mensen die elkaar nog nooit hebben gezien, noemen we onbekenden van elkaar en degenen die elkaar al eens eerder hebben gezien, zijn vrienden. Ramsey Theory zegt nu dat op dit feestje minimaal drie gasten ofwel paarsgewijs vrienden ofwel paarsgewijs onbekenden zijn. Elke persoon heeft daar immers ofwel drie of meer vrienden, ofwel drie of meer onbekenden. Als je dit uitzet in een graaf, met elke persoon als punt en onbekenden als blauwe lijnen en vrienden als rode, krijg je altijd ofwel een rode driehoek, ofwel een blauwe.

Het bewijs gaat als volgt: neem een willekeurig punt in de graaf en noem het P . Er lopen vijf lijnen uit P , waarvan minstens drie met dezelfde kleur, als je namelijk minder dan drie van de ene kleur hebt, heb je juist meer dan drie van de andere kleur. Aan de andere kant van de drie lijnen met dezelfde kleur, zeg rood, heb je punten A , B en C . Als een van de lijnen AB , AC of BC rood is, dan heb je met twee lijnen vanuit P een driehoek van vrienden. Als geen van deze drie rood zijn, moeten ze wel blauw zijn, en dus kennen deze drie mensen elkaar niet.

Ramsey Theory is ontdekt door Frank P. Ramsey. Hoewel Erdős nooit structureel aan het opbouwen van het vakgebied heeft gewerkt, heeft hij veel betekend voor Ramsey Theory door veel problemen in het vakgebied op te lossen.

Erdős nog veel. Soms haalde hij nog wel vijftig artikelen in een jaar, iets wat veel wiskundigen in hun hele leven niet halen. Na de dood van zijn moeder in 1971 ging hij zelfs negentien uur per dag aan wiskunde besteden.

Erdős vond de wiskunde dan ook wel het belangrijkste wat er was. Zo had hij op een gegeven moment een oogoperatie nodig, maar hij vond dat dat wel kon wachten. Na veel aandringen van zijn vrienden was het dan geregeld, hij kon ergens vlug tussendoor, en het zou hem heel weinig tijd kosten. Met tegenzin stemde hij in. Aangekomen op de operatietafel vroeg hij of hij wel in staat zou zijn wiskunde te lezen. Uiteraard zou hij dat kunnen, deze operatie zou immers alleen maar zijn gezichtsvermogen verbeteren. Vervolgens reageerde hij heel verbolgen toen het licht uitging. Hij kon toch zeker wiskunde lezen tijdens de operatie? Dat ze het ene oog opereerden was toch op geen enkele manier een reden dat het andere oog geen wiskundig tijdschrift kon lezen? Uiteindelijk is er gauw een wiskundige bijgehaald met wie hij kon discussieren tijdens de operatie zodat hij niet zelf hoefde te lezen.

Zijn ogen waren niet zijn enige probleem. Ook Erdős' hart was niet tiptop. Op een gegeven moment schoot zijn hartslag zomaar naar 150. Eenmaal in het ziekenhuis begon het te dalen naar 63. De cardioloog besloot hem een tijdje in het ziekenhuis te houden. Zelfs toen wilde Erdős niet stoppen met werken. Hij had zijn hele ziekenhuisbed vol met papieren en horden wiskundigen liepen af en aan. In 1988 kreeg hij nog een hartaanval en moest toen hij naar een ander ziekenhuis overgeplaatst worden, omdat in het eerste ziekenhuis de kamers niet groot genoeg waren om alle bezoekers te kunnen houden. Erdős ging zo op in de wiskunde dat hij zelfs de dokters wegjoeg en zei dat ze maar een paar uur later moesten terugkomen, omdat hij het op dat moment te druk had.

Uiteindelijk bleek zijn hart toch de zwakste schakel te zijn. Terwijl hij bezig was met nog meer wiskunde, overleed Erdős in 1996 aan een hartstilstand. Hij zal daar de Supreme Fascist wel flink dwars zitten. Maar nóg niet. Niet voordat hij Het Boek uitheeft. •

**Bart Nijs.
Functioneel ontwerper.
Nog geen rijbewijs.**



Quinity
.com

Ook zin in een succesweekend met een stretchlimo en chauffeur?

Als je bij Quinity komt werken, werk je mee aan het ontwikkelen van eBusiness-applicaties. Dat doen

we voor grote, financiële organisaties en met goede resultaten. En boeken wij succes, dan boek jij ook succes. Sterker nog: we garanderen je een carrière waarin je veel successen op je naam kunt zetten. Ook als je nog maar net bent afgestudeerd.

En om je daarvan alvast te laten proeven, krijg je van ons een geweldig succesweekend naar keuze aangeboden als we het met elkaar eens worden.

Kijk meteen op www.werkenbijquinity.nl voor alle details en mogelijkheden. En ontdek dat je bij Quinity net zo succesvol kunt worden als je ambities reiken.

Upload meteen je cv.

Quinity zoekt **software engineers Java/J2EE**, **projectleiders**, **functioneel ontwerpers** en **consultants/informatie-analisten**. Als je zo'n baan én een succesweekend wilt, upload dan snel je cv. Ook al heb je nog geen ervaring.

Op www.werkenbijquinity.nl vind je uiteraard ook alle andere informatie en wetenswaardigheden over een baan bij ons bedrijf.

Quinity B.V. – Maliebaan 50 – Postbus 13097 – 3507 LB Utrecht
Telefoon +31(0)30 2335999

**Werken bij Quinity.
Succes gegarandeerd.**

Denk jij dat je het bij ons kunt maken?

Bij Corus vinden we dat staal maken altijd beter kan. Dankzij die gedreven instelling zijn we in IJmuiden een staalbedrijf met grote ambities, opweg naar de wereldtop. Een internationale leider, die met toonaangevende klanten samenwerkt aan baanbrekende innovaties. Voor bijvoorbeeld lichte en sterke auto's, voedselveilige verpakkingen en duurzame huizen en kantoren. Kortom, slimmer staal voor een sterkere wereld.

Dat gaat natuurlijk niet vanzelf. Onder het motto 'Best supplier to Best Customers' heerst er in IJmuiden een sfeer waarin alleen het beste goed genoeg is: continu verbeteren voor de beste productieprocessen, leveren aan de beste klanten, te boek staan als de beste buurman, en natuurlijk werken met de beste mensen.

En met elk idee om te verbeteren ontstaan er ook weer nieuwe vacatures voor creatieve, eigenzinnige mensen die net zo gedreven zijn als wij. Die in onze technologische wereld 'denken' willen combineren met 'doen'. Die gaan voor een baan met afwisseling en inhoud. Met uitdagingen, doorgroeimogelijkheden én kansen om nieuwe ervaringen op te doen.

Denk jij dat je het bij ons kunt maken?

Slimmer staal, sterkere wereld



Bij Corus in IJmuiden gaan we voor de inhoud. We bieden zeer afwisselend werk. Met talloze doorgroeikansen, flexibele arbeidsvoorwaarden en een goede balans tussen werk en privé. Alles over banen, stages en afstudeeropdrachten vind je op www.corusjobs.nl



Vroeger, lang lang geleden, waren er nog geen personal computers. We schrijven 1936, toen met computer nog werd bedoeld op een ijverige jongeman die geduldig en secuur lange berekeningen voor je uitvoerde. Toen Alan Turing een manier zocht om te bekijken of iets berekenbaar was, kon hij dus nog niet praten over berekenbaarheid met de computer. In plaats daarvan vond hij zijn eigen computer uit: de Turingmachine.

Alan Turing werkte aan het tiende probleem van Hilbert. Hilbert had in het begin van de twintigste eeuw een voordracht gehouden waarin hij 23 belangrijke problemen uiteenzette, die naar zijn mening nader onderzocht zouden moeten worden. Het tiende probleem was het zogenoemde *Entscheidungsproblem*. Zoals Hilbert het in 1928 formuleerde, was dit de vraag of de wiskunde compleet, consistent en beslisbaar was. Gödel had eerder al bewezen dat de wiskunde noch compleet noch consistent was. Nu besloot Turing zich aan de beslisbaarheid te wagen.

Hiertoe moest hij eerst definiëren wat het betekende dat een probleem beslisbaar was. Turing definieerde dit als volgt: een probleem is beslisbaar als er een mechanisch apparaat bestaat dat het kan oplossen. Nu moest hij nog bedenken hoe zo'n apparaat er uit zou moeten zien. Daarom ontwikkelde hij een soort primitieve computer, die later de Turingmachine genoemd zou worden.

De Turingmachine

De Turingmachine bevat een oneindige papieren band die is opgedeeld in vakjes, en een kop die een vakje kan lezen en beschrijven met één karakter. Verder heeft de machine een beperkt geheugen, dat wil zeggen, hij kan zich in een bepaalde toestand bevinden, en er is een eindig aantal toestanden. Dit is echter maar één mogelijke representatie. Aangezien de Turingmachine een hypothetisch model is, kun je hem ook zien als een dom mannetje in een karretje op een oneindig lange weg, dat met stoepkrijt op de straat schrijft en op een papiertje bijhoudt wat hij ook alweer aan het doen was.

Het leuke van de Turingmachine is nu dat hij bijzonder krachtig blijkt te zijn. Hij kan namelijk precies dezelfde

problemen oplossen als een moderne computer. Sterker nog, elke mogelijke computer is op zijn hoogst zo krachtig als een Turingmachine (onthoud dat rekenmachines ook computers zijn). Wanneer deze machine dus een bepaald probleem niet kan oplossen of een stelling niet kan beslissen, dan zal geen enkele machine dat ooit kunnen. Als Turing dus voor de Turingmachine kon aantonen dat een bepaald probleem al dan niet beslisbaar was, dan had hij dat ook direct algemeen gedaan.

Palindromen

Om je een idee te geven hoe een Turingmachine werkt, geven we een simpel voorbeeld. Als je wilt herkennen of een woord een palindroom is, hoe doe je dat dan op een Turingmachine? Om te beginnen zetten we het woord op de band. Nu pakken we de eerste letter, en kijken welke dat is. We veranderen dan de toestand van de Turingmachine naar de waargenomen letter en vervangen de letter op de band door een spatie.

Nu gaan we naar het einde van het woord, door net zolang door te lopen tot we een spatie tegenkomen. Wanneer we een spatie tegenkomen, doen we een stap terug en kijken we of de letter die daar staat gelijk is aan de letter die we al hadden. Is dit het geval, dan vervangen we deze letter door een spatie, en beginnen we opnieuw. Is de letter niet gelijk, dan stoppen we en constateren we dat het woord geen palindroom is. Als uiteindelijk alle letters weg zijn, of er nog één letter over is, stoppen we en zeggen we dat het woord een palindroom is.

Universele Turingmachines

Zoals je echter kunt zien, is zo'n Turingmachine maar voor één doel te gebruiken. Voor een gewone computer



geldt dit niet: die kan immers willekeurige programma's uitvoeren. Er zijn ook Turingmachines die iets dergelijks kunnen; deze noemen we universele Turingmachines. Je kunt je dit voorstellen als een Turingmachine die de beschrijving van een gewone Turingmachine op de band heeft, met daaropvolgend de invoer van dit programma. Dit is dus in feite een echte programmeerbare computer.

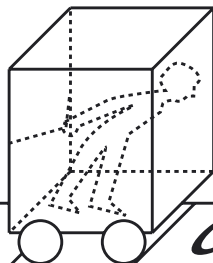
Haltingprobleem

Om weer terug te komen op het probleem van beslisbaarheid gaan we nu kijken naar simpele Turingmachines. We hebben eerder al vermeld dat een Turingmachine even krachtig is als een gewone computer, dus zullen we Turingmachines voor het gemak weergeven als programma's. We kijken nu eerst naar het volgende simpele programma:

```
ALS x = 0
  STOP
ANDERS
  x <- x-2
  BEGIN OPNIEUW
```

Dit programma zal duidelijk alleen eindigen – dat wil zeggen, het zal na een eindig aantal stappen het commando STOP uitvoeren – wanneer x initieel een positief even getal is. De vraag is nu of je dit ook geautomatiseerd zou kunnen vaststellen. Is het mogelijk om een programma te schrijven dat gegeven een ander programma zegt of het eindigt voor een gegeven invoer? Deze vraag staat bekend als het haltingprobleem. Laten we eens naar het volgende programma kijken:

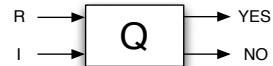
```
ALS x = 1
  STOP
ANDERS
  ALS x even
    x <- x/2
    BEGIN OPNIEUW
  ANDERS
    x <- 3*x + 1
    BEGIN OPNIEUW
```



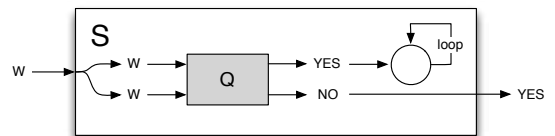
Het vermoeden dat dit programma eindigt voor alle positieve getallen, wordt wel het vermoeden van Collatz genoemd en is een onopgelost probleem in de wiskunde. Kennelijk is het nog niet zo eenvoudig om te bepalen of een programma eindigt voor een bepaalde invoer, sterker nog, het blijkt onmogelijk om dit geautomatiseerd te bepalen.

Merk op dat je niet gewoon het programma kunt laten lopen, en als het te lang duurt, zeggen dat het niet eindigt. Je kunt wel vaststellen dat het programma wel eindigt. Maar wanneer het lang duurt, kun je het niet zomaar onderbreken, want stel dat het later alsnog zou eindigen? Een programma dat bepaalt of een programma eindigt, zou zowel een bevestigend als een ontkennend antwoord binnen eindige tijd moeten kunnen geven. We zullen nu bewijzen dat zo'n programma niet kan bestaan.

We beginnen door ons te beperken tot een subset van alle mogelijke programma's, de zogenaamde beslissingsprogramma's, die bij een bepaalde invoer een YES of een NO oplevert. Stel nu dat we een programma Q hebben dat het haltingprobleem oplost. Dit programma krijgt dan als invoer een programma R en een invoer I voor het programma R . Dit geven we als volgt weer:



Het programma zal nu YES als uitvoer hebben als R eindigt met I als invoer, en NO wanneer dit niet het geval is. Nu introduceren we een nieuw programma S . Dit programma is een beetje raar: het krijgt als invoer een programma w , en geeft vervolgens w als de twee invoeren – zowel als R als I – aan ons programma Q . Vervolgens hangt het verdere verloop van het programma S af van wat uit Q komt. Als Q YES oplevert, gaat S in een oneindige lus. Anders zal S YES opleveren. In een plaatje:



Het is wellicht op het eerste gezicht wat bevreedend dat we een programma nu zowel als programma, als in-

voor gebruiken. Maar laten we weer even teruggrijpen op de universele Turingmachine. De universele Turingmachine krijgt een andere Turingmachine én als programma, én als invoer, tezamen met een invoer. Voor een Turingmachine maakt het immers niet uit wat voor invoer hij krijgt. Ook voor onverwachte invoer zal de Turingmachine al of niet eindigen.

We merken nu op dat s zelf ook een programma is. We kunnen dus s aan zichzelf als invoer geven. Maar laten we eens secuur kijken naar wat er dan gebeurt. Als s eindigt met zichzelf als invoer, dan zal Q YES opleveren, en s naar de oneindige loop gaan, en s zal dus niet eindigen wanneer het zichzelf als invoer krijgt. Maar als s niet eindigt met zichzelf als invoer, dan zal Q NO opleveren, en zal s YES opleveren en dus eindigen met zichzelf als invoer. Ongeacht het gedrag van s wanneer het zichzelf als invoer krijgt, kunnen we dus een tegenspraak afleiden. Aangezien elke tussenstap valide is, betekent dit dat de aanname incorrect is: we kunnen dus geen algoritme schrijven dat het haltingprobleem oplost. Hieruit kunnen we concluderen dat het haltingprobleem onbeslisbaar is.

Nu lijkt het haltingprobleem een erg kunstmatig voorbeeld, een uitzondering, maar dit is niet zo. Het haltingprobleem kunnen we namelijk reduceren tot vele andere problemen, zoals het betegelingsprobleem, wat gaat over hoe een vlak te bedekken met vierkante vierzijdige dominostenen. Dit betekent dat een oplossing voor het betegelingsprobleem, samen met paar simpele reductiestappen, het haltingprobleem oplost. Als het betegelingsprobleem beslisbaar zou zijn, dan zou ook het haltingprobleem beslisbaar zijn, maar dit is onmogelijk. Zo zien we dat ook het betegelingsprobleem onbeslisbaar moet zijn.

Reducties van het haltingprobleem naar andere problemen wordt makkelijk gemaakt door Turingmachines te gebruiken. Het blijkt namelijk simpel om de toestanden en band van de Turingmachine te vertalen naar andere objecten, waar het andere probleem over gaat. Zodoende maakt de simpelheid van de Turingmachine – een eindig aantal toestanden en simpele handelingen – het ons gemakkelijk om op meer abstracte wijze uitspraken te doen over verscheidene problemen. •

De 2,3-Turingmachine

In 2002 publiceerde Stephen Wolfram het controversiële boek 'A New Kind of Science'. Dit boek gaat over zogenoemde simpele programma's en de modellen om ze uit te rekenen. Het gaat zowel over hoe je de hele wereld zou kunnen beschrijven met behulp van zulke simpele programma's, als over kleine modellen om zulke programma's uit te voeren. Zo komen ook kleine (in termen van hoeveel toestanden en hoeveel verschillende karakters op de band) universele Turingmachines aan de orde.

Wolfram vermoedt in zijn boek dat een bepaalde 2,3-Turingmachine waarschijnlijk universeel is. Een 2,3-Turingmachine is een machine die twee toestanden en drie kleuren (karakters) op de band heeft. Eerder al had Wolfram bedacht dat er een 2,5-Turingmachine is die universeel moest zijn, hetgeen door Matthew Cook werd bewezen. Zijn preciezere vermoeden heeft echter een tijdje in de kast gelegen tot Wolfram 14 mei jl. een wedstrijd uitschreef voor het bewijs.

Toen deze zomer Alex Smith, rechtgeaarde nerd en ontwikkelaar van een InterCal compiler, zich verveelde, besloot hij het eens te wagen. Hij schreef een compiler in Perl die willekeurige programma's voor een bewezen andere universele Turingmachine omzette naar programma's voor de Turingmachine #596440 (de specifieke Turingmachine waarvan Wolfram vermoedde dat die universeel is). Hoewel de programma's die dit oplevert erg groot en traag zijn, en de compiler niet praktisch te gebruiken zal zijn, bewijst dit wel dat de machine universeel is.

Gezien Wolfram al wel had bewezen dat een universele 2,2-Turingmachine onmogelijk was, is nu eenduidig vastgesteld wat de kleinste universele Turingmachine is. De vraag is alleen wel van hoeveel belang het is. Hoewel het een duidelijk en definitief resultaat is, is het volgens Scott Aaronson, onderzoeker aan kwantumberekeningen aan de Massachusetts Institute of Technology, niet meer heel relevant: "They see it as a recreational pursuit that interested people in the 60s and 70s but is now sort of 'retro'."

Het leven is voor een student erg duur. Huur, studie en boeken brengen je maandelijkse uitgaven tot torenhoge bedragen. Daarnaast is het ook nog essentieel dat je genoeg eet en soms een borreltje kunt doen met je vrienden. Omdat dat laatste erg belangrijk is voor je sociale contacten, zullen we in iets anders moeten snijden: de boodschappen.

Wij stelden onszelf de vraag: “Waar ben ik, arme student, in deze barre tijden het voordeligst uit?” Met het beeld van een student die altijd eten voor twee maakt, omdat dat voor de volgende dag scheelt of omdat er toch wel iemand komt eten, hebben wij de vier best bezochte supermarkten uitgekozen, om daar de ingrediënten te kopen voor een heerlijke tweepersoonsmaaltijd.

Albert Heijn

Wie in Groningen woont, kent de Albert Heijn Korenbeurs. Midden op de Vismarkt staat een neoclassicistisch pand. Een rechtbank denk je? Handelscentrum? Eenmaal binnen blijkt het een doodnormale supermarkt te zijn. Vroeger hoorde je altijd dat de Albert Heijn, in de volksmond ook wel AH, de duurste supermarkt was, maar sinds de intrede van het merk Euro Shopper in 1996 blijkt eten opeens niet meer zo duur. Zoals de licht kalende filiaalmanager van de AH-reclames al beweert, de winkel is een grote kleinste-prijzensafari. Nergens vind je zulke goedkope mayonaise, afbakbroodjes en tomaatpurree als in de AH.

Voor de maaltijd van de AH kozen we voor een klassieker, bij iedere student bekend als pasta rode saus. We begonnen met de keuze van de pasta. Snel liepen we langs de duurdere pastamerken naar de Euro Shopper afdeling, die op een wel heel vreemde plek bleek te liggen. Gelukkig zijn wij na een aantal jaar student-zijn oude rotten in het vak geworden die alle goedkope producten weten te lokaliseren. Ons breng je niet in de war door de pasta tussen de oosterse gerechten te verstoppen! Zoals de naam al zegt, een pot rode pastasaus kon niet ontbreken. Voor de vleesliefhebbers ging er ook nog gehakt in; niet de gezondste, wel de goedkoopste: half-om-half gehakt. De Italiaanse roerbakmix van het huismerk moest voor de benodigde groenten zorgen. Dit was, op het vlees na, de duurste uitgave. Zo zie je maar weer: gezond doen is nog niet zo goedkoop. Omdat we op dit punt nog een klein beetje van het budget over hadden, leek een toetje

toepasselijk. De toetjes met room zijn uit ervaring erg lekker, en zodoende belandden hier ook twee van in ons boodschappenmandje. Voor de lekkere trek na het eten nog een zakje tortillachips, waarna we ons richting kassa begaven.

Een tip van de experts: ga nooit rond etenstijd boodschappen doen bij de Albert Heijn Korenbeurs. Er zijn veel kassa's, maar nog veel meer mensen. Wel heb je de kans om dan beroemdheden tegen het lijf te lopen, zo stonden wij in de rij achter Bert Visscher en Victoria Koblenko. Toen we eenmaal buiten stonden, hadden we 4,92 euro uitgegeven aan een degelijke maaltijd. Weliswaar niet heel bijzonder, maar de kracht van de Euro Shopper kwam duidelijk naar voren. Helaas deden het gehakt en de groenten de prijs fors stijgen. Het fijne aan deze maaltijd is dat hoe meer mensen meeëten, hoe goedkoper het per persoon wordt.

De studenten moeten het in de Albert Heijn echt van de Euro Shopper producten hebben. Als je de die producten uit de winkel wegdenkt, blijkt de student in een groot gat te vallen, namelijk dat in zijn portemonnee. Het huismerk van de AH blijkt vaak dubbel zo duur en soms zelfs even duur als de welbekende A-merken. Niet echt een ideale winkelsituatie dus. Zolang er echter genoeg producten van de Euro Shopper zijn, is het leuk winkelen.

Albert Heijn	
Euro Shopper spaghetti (500 gr)	0,50
Pak half-om-half gehakt (357 gr)	1.40
Italiaanse roerbakmix huismerk (250 gr)	1.39
Euro Shopper pastasaus (pot)	0.88
2 * Toetje met room, chocolade	0.30
Euro Shopper tortillachips	0.45
+	
Een 2-persoons Italiaanse rode pastasaus en pasta à	€ 4,92

Jumbo

Bij menigeen zijn de spelletjes van Jumbo waar jeugdsentiment. De spelletjes van deze coöperatie staan immer ga-

rant voor uren en uren speelplezier; in elk geval kunnen wij er geen genoeg van krijgen. Hetzelfde geldt voor de levensmiddelenverendeur Jumbo. Verzekerd van een budget met een hoogte van vijf euro, zijn wij echter vast wel in staat een goede poging te wagen. De Jumbo heeft twee vestigingen in Groningen, in de categorieën 'groter' (aan de Korreweg) en 'grootst' (de Euroborg). Uit logistieke overwegingen hebben wij gekozen voor de 'groter'-categorie. Voor deze winkel bedachten we een uitdaging: een vegetarische maaltijd.

Wie aan vegetarisch denkt, denkt natuurlijk meteen aan rijst. De rijstafdeling in de Jumbo bestrijkt meerdere schappen, wat het lastig maakte om een lekkere rijst uit te kiezen. Wij kozen voor het pak met de slogan 'prima kwaliteit, lukt altijd' van Avant. Dat dit ook het goedkoopste pak was, was een onverwachte bijkomstigheid. Naast Avant zijn er nog meer van dit soort goedkope merken te vinden in de Jumbo, zoals Fruxano en O'Lacy.

Als je rijst eet, moet je er wel een lekkere saus bij kiezen. Hierin was wederom erg veel keuze. Wij hebben gekozen voor Kung Fu zoetzure saus. In combinatie met het kleintje bamigroenten van het huismerk was de basis voor de saus gelegd. Afmaken met een lekkere combinatie van eieren en cashewnoten, en toen kon de feestmaaltijd beginnen. Met een lekker en goedkoop pak sinaasappelsap hadden we meer dan alleen water te drinken tijdens het eten. Zo eindigden we met een prima maaltijd voor minder dan 5 euro.

Over het algemeen kost het vlees in een gerecht het meest. Voor een vegetarisch maaltijd was deze maaltijd dus nog best duur. Maar dit kwam door alle extra's die we gekozen hadden, een beetje luxe kan ook geen kwaad. De Jumbo heeft veel goedkope producten en erg veel keuze. Zo kun je zelf bepalen of je een dure of heel goedkope maaltijd op tafel of schoot wilt serveren. Hierdoor is de Jumbo zeker aan te raden voor de flexibele student.

Jumbo	
Avant snelkookrijst	0,33
Kung Fu zoetzure saus (pot)	0,79
O'Lacy cashewnoten	1,50
Kleintje bamigroenten huismerk (250 gr)	0,99
Eieren (6st)	0,95
Fruxano sinaasappelsap (1 liter)	0,39
	+
Voor de vegetariërs onder ons: een maaltijd voor 2 personen à	€ 4,95

Super de Boer

De Super de Boer is niet de populairste winkel onder studenten. Het wordt vaak gezien als een relatief dure winkelketen. Niet een heel erg voor de hand liggende winkel, maar toch blijken er minstens twee Super de Boer filialen te zitten op weg naar het Zernike. De ene siert de hoek van de Prinsesseweg, de andere zit ongeveer halverwege de Kerklaan. Bij deze laatste zijn we een kijkje gaan nemen.

Van buiten lijkt het een kleine winkel, maar doordat alles wat dicht op elkaar staat, kan deze Super de Boer toch redelijk wat van het assortiment kwijt. Bij binnenkomst spotten we twee verveeld kijkende dames achter de kassa, maar dit mocht de pret niet drukken. Op het moment dat we het winkelgebied betraden, liepen we tegen een speciale bak aan: de aanbiedingenbak. Hier waren aardappelschijfjes en drumsticks te vinden voor een redelijk lage prijs. Nadat we meteen daarna de potjes groenten hadden gespot voor het spotprijstje van 75 cent, waren we erg gelukkig. Een avg-tje (Aardappel-Vlees-Groentengerecht) koop je niet vaak onder de 2 euro per persoon, omdat het vlees meestal erg duur is. Om onze vreugde te uiten, besloten we bij het eten een lekker glas wijn te drinken. Voor 1,19 euro had je hier al een klein flesje van 250 ml, waar precies twee glazen uit gehaald kunnen worden. Toen we als toetje de jeugdherinnering danoontje zagen, kon ons humeur niet meer stuk. We waren 20 cent over het budget heen, maar het was zeker de moeite waard.

Op weg naar de uitgang kwamen we wederom de verveeld kijkende dames tegen. Toch liepen we met een glimlach de winkel uit, zulke goede inkopen hadden we al tijden niet bij de Super de Boer gedaan. Afgezien van de goede aanbiedingen die blijkbaar soms je pad kruisen, is het prijsniveau in de winkel hoog. Huismerk is vrijwel altijd de laagste prijs, en zelfs deze is niet altijd laag te noemen. Net als bij de AH ligt de prijs vaak tegen die van de A-merken aan. Als enig alternatief is er O'Lacy, maar hiervan is het assortiment gering. Als student niet de beste winkel om dagelijks te shoppen, maar als je kunt leven op aanbiedingen zeker de moeite waard om af en toe een kijkje te nemen.

Super de Boer	
Aardappelschijfjes huismerk (aanbieding)	1,00
Kip drumsticks huismerk (aanbieding)	1,57
Doperwt en wortels (potje, huismerk)	0,75
Trollini danoontjes 6 st.	0,69
Huiswijn rosé (250 ml)	1,19
<hr/>	
Een klassieke AVG-maaltijd voor slechts	€ 5,20

Aldi

Eigenlijk zou op iedere straathoek een Aldi moeten zitten! Alles is hier in te grote hoeveelheden te koop, voor (te) weinig geld. Niet voor niets is het befaamde Aldi Prinsip: "Qualität ganz oben – Preis ganz unten." Toen wij het pand van de Aldi betraden, keken wij onze ogen uit, twee vindicatresses in roze tutu's daargelaten. Wel was het er rommelig en vol, maar dit blijkt het geheim van de Aldi te zijn: weinig schappen en alles nog in dozen. Zo is het makkelijk om snel even een traytje golden power mee te pakken of een voorraad overheerlijke ijs-thee.

Naast de dagelijkse boodschappen als sinaasappelsap, brood en zalmfilet vind je er ook exotische producten zoals tomatensap met zeezout en kruidenextract. Tevens biedt de Aldi ons een grote selectie aan witte en rode wijnen en is er altijd nog de hoek met themaanbiedingen, uiteenlopend van skistokken tot sjaals. Het was even zoeken in de winkel, niet alles staat in een logische volgorde, maar na even te hebben gedwaald, konden we eindelijk beginnen met het samenstellen van een lekkere en gezonde maaltijd.

In deze bijzondere winkel bleven we dicht bij huis. Geen Italiaanse of Chinese maaltijd, maar een oer-Hollandse boerenstamppot. Na een al te grote hoeveelheid van de aardappelpuree, boerenkool en spekjes in te hebben geslagen, hadden we nog genoeg geld voor een, wederom te grote hoeveelheid, toetje. Deze maaltijd bleek niet voor slechts twee man te zijn, maar met een kleine uitbreiding ook goed te doen voor vier mensen. Als drinken pikten we ook nog een fles cola mee, eigenlijk buiten ons budget, maar we wilden nog een keer de goede prijs-/kwaliteitverhouding benadrukken.

Hoewel niet overal te vinden in de stad, is een Aldi zeker de moeite waard voor je portemonnee om eens op

te zoeken. Naast avondeten zijn vooral de snacks en het drinken hier erg goedkoop, reden voor een feestje dus.

Aldi	
Pak aardappelpuree (450 gr)	1,19
Zak boerenkool (250 gr)	0,59
Milsani melk (1 liter)	0,59
Pakje spekjes (250 gr)	0,75
Italiaans ijs (1 liter)	1,89
Fles River cola (1,5 liter)	0,39
<hr/>	
Een smakelijke stamppot à	€ 5,40

Tot slot

Duur inkopen doen is niet voor ons, Groningse studenten, weggelegd. Waar kunnen we eigenlijk het beste de boodschappen vandaan halen? Wij zijn van mening dat je voor weinig geld de beste waar zou moeten krijgen. Omdat wij bij iedere grote supermarkt in Groningen toch wel voor een zeer schappelijke prijs een lekkere maaltijd hebben kunnen samenstellen, kunnen we niet echt een eenduidig advies geven; eigenlijk zou je moeten weten waar de beste aanbiedingen gelden en op wiens schap de kwalitatief betere c-merken staan. Ons advies is dan ook om de foldertjes van allerhande supermarkten erop na te slaan. Er is altijd wel iets in de aanbieding! •



Surely you're joking Mr. Feynman

DOOR MARK IJBEMA

Ik weet het, ik was te laat. Mijn excuses. En sorry, ik heb gelogen. Ik had de trein niet gemist. Ik had me niet verslapen. Ik was het niet vergeten. Maar ik kon dit boek zo moeilijk wegleggen.

Voor deze perio had ik me voor- genomen een natuurkundege- relateerd boek te lezen, vandaar de keuze voor “Surely you're joking Mr. Feynman” van Richard Feynman (1918-1988). Hierin kwam ik bedrogen uit. Het boek is een collectie anekdotes verdeeld over vijf perioden uit het leven van Richard Feynman. Hoewel Feynman natuurkundige is en daar zelfs een Nobelprijs voor heeft gewonnen, gaat geen van de anekdotes direct over natuurkunde. Toch merk je direct dat je hier met een echte bèta te maken hebt.

Het boek begint met hoe Feynman op jeugdige leeftijd al met radio's prutste en werkte aan het logistieke proces in de keuken van het hotel van zijn tante. Maar al gauw begint hij over zijn studententijd en daaropvolgend zijn leven als jonge onderzoeker. Hier begon voor mij een grote verrassing. In mijn hoofd zijn Nobelprijswinnaars serieuze mensen die gewichte blikken over hun bril werpen, die halverwege hun neus staat. Ik had beter moeten weten, de ondertitel is niet voor niets “Adventures of a curious character”.

Feynman had een voorliefde voor practical jokes. Zo liet hij eens zijn fooi achter onder twee glazen die hij, gevuld met water, op de kop had gezet met behulp van een speelkaart. De volgende dag werd hij bediend door een andere serveerster. Hij vroeg haar waarom haar collega niet op het idee was gekomen om, nadat ze nat was geworden van het eerste glas, het andere glas te leggen door het van de tafel op een bord te schuiven. Dat vond de serveerster inderdaad ook wel een goed idee. Vervolgens liet hij zijn fooi achter onder een leeg koffiekopje. De volgende dag kwam de serveerster verontwaardigd op hem af. Ze had ondanks dat ze haast had helemaal een bord gehaald, en het kopje er voorzichtig opgeschoven, en er zat helemaal geen water in!

Ook typerend was de onderzoeksdrang van Feynman. Niet alleen vertoonde hij veel interesse in natuurkunde, ook verdiepte hij zich in biologie, filosofie, hypnose en gedachtenlezen.



Maar dat Feynman ook een echte hacker was, blijkt wanneer hij over zijn tijd bij het atoomproject in Los Alamos vertelt. Dit top-secret terrein was uiteraard afgezet met een hek. Een aantal luie werklui – het gebouw was nog niet af toen ze het betrokken – wilde echter niet omlopen via de toegangspoort en had een gat in de omheining geknipt. Dus Feynman liep de poort uit... en uit... en uit... Totdat iemand eindelijk doorkreeg dat hier toch iets niet klopte. Vervolgens heeft Feynman zich gespecialiseerd in het kraken van de sloten om aan te tonen dat iedereen zo bij alle geheime documenten kon. Daarnaast vertelt hij nog een gaaf verhaal van hoe hij al programmeerde toen je voor één vermenigvuldiging of optelling nog een volledige computer nodig had. Programmeren kwam dan ook neer op mensen vertellen in welke volgorde ze tussen welke computers heen en weer moeten rennen.

In het daaropvolgende gedeelte van het boek vertelt Feynman over zijn leven als professor, maar ook dit is niet zo saai als je misschien zou verwachten. Zo vertelt hij over hoe hij meespeelde in een band bij het Carnaval in Brazilië en hoe hij in de rechtszaal pleitte voor het behoud van de lokale nudebar.

Het laatste gedeelte van het boek is een tikje serieuzer en gaat iets meer over natuurkunde. Zo vertelt hij hoe hij midden in de nacht wakker werd gebeld. Geirriteerd gooide hij de hoorn er weer op. Iets met een Nobelprijs of zo. Daarnaast besteedt hij in dit gedeelte aandacht aan de belangrijkste principes van de wetenschap.

Al met al is het boek erg onderhoudend geschreven. Dit komt deels doordat Feynman het boek heeft verteld aan iemand die het voor hem opschreef. Hierdoor is het boek conversationeel van toon en leest het lekker weg. Het staat vol met grappige anekdotes en het feit dat dit een echt bestaand persoon was, een natuurkundige, een Nobelprijswinnaar, maakt het allemaal nog een stuk leuker. Rest mij nog een laatste waarschuwing: ga dit boek niet lezen als je bijna wil gaan slapen of op tijd moet komen voor een afspraak. •

DOOR CORINE MEINEMA EN PJOTR SVETACHOV

De periodiekredactie ging naar de Noordpool en mocht meerijden op de slee van de kerstman. Helaas kwam de slee niet ver omdat een klein elfje, genaamd Job, de rendieren op de verkeerde plek had gezet. Toch heeft de periorredactie eventjes op de rendieren van de kerstman kunnen rijden. Na afloop kreeg iedereen een cadeau.

Kun jij afleiden op welke plaats en op welk rendier iedereen zat en welk cadeautje iedereen heeft gekregen? Ester, Ellen en Marten stellen hun cadeaus graag ter beschikking voor degene met het juiste antwoord. •

Om deze puzzel op te lossen weet je de volgende feiten:

- Mark zit niet op Dancer maar kreeg wel een koe.
- Corine zit schuin direct achter Willem.
- Ellen, die op Cupid zit, zit in de linkerrij.
- De blender gaat naar persoon op plaats 6.
- De persoon met de fotolijst zit in dezelfde rij als de persoon die op Vixen zit.
- Samuel zit direct achter Cupid en direct voor de jongen die een boxer krijgt.
- Direct achter Marten en naast de persoon die op Comet zit, zit de persoon die de chocoladefondue heeft gekregen.
- Marten, die geen fotolijst heeft gekregen, en Willem zitten aan de rechterkant van Pjotr.
- De persoon die op Blitzen zit kreeg een puzzelboekje.
- Corine heeft geen witte sokken gekregen.

- De persoon op plek nummer 7 kreeg geen fles wijn.
- Donners nummer is precies twee keer zo groot als dat van het rendier van de persoon die een fotolijst kreeg.
- Dacher staat naast de persoon met de fles wijn maar niet naast Cupid en ook niet voor Donner.

links	rechts
1	2
3	4
5	6
7	8

Ook is het handig om te weten dat de kerstman de opspanning van slee nummert volgens het tabelletje hiernaast.

																				Dacher			
																				Dancer			
																				Prancer			
																				Vixen			
																				Comet			
																				Cupid			
																				Donner			
																				Blitzen			
																				Witte sportsokken			
																				Fotolijst			
																				Chocoladefondue			
																				FMF-Boxer			
																				Blender			
																				Puzzelboekje			
																				Fles rode wijn			
																				Koe			
																				1			
																				2			
																				3			
																				4			
																				5			
																				6			
																				7			
																				8			
Witte sportsokken	Fotolijst	Chocoladefondue	FMF-Boxer	Blender	Puzzelboekje	Fles rode wijn	Koe	Dacher	Dancer	Prancer	Vixen	Comet	Cupid	Donner	Blitzen	Corine	Ellen	Ester	Pjotr	Mark	Marten	Samuel	Willem

DOOR WILLEM HENDRIKS

De puzzel van het vorige breinwerk ging over vierkanten in een vierkant. De opdracht was met één van 1×1 , twee vierkanten van 2×2 , drie vierkanten van 3×3 , ..., M vierkanten van $M \times M$, weer een vierkant te vullen, zodanig dat alle vierkanten zichtbaar zijn. Met zichtbaar bedoelden we natuurlijk dat de vierkanten naast elkaar moesten liggen, en niet dat ze semi-transparant mochten zijn. Helaas moesten we daarom de zeer creatieve inzending van Writser Cleveringa afkeuren.

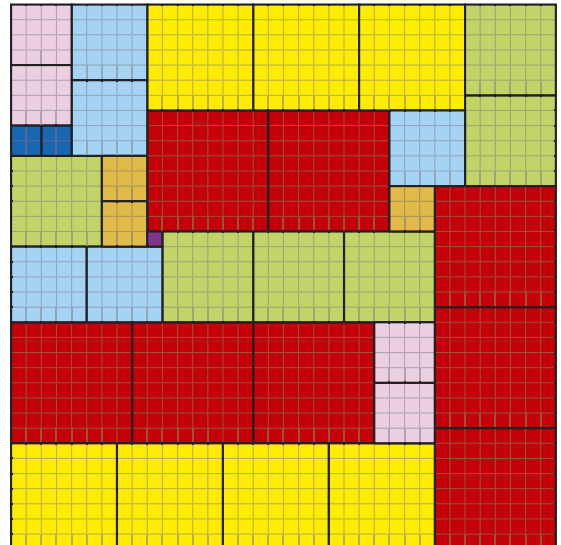
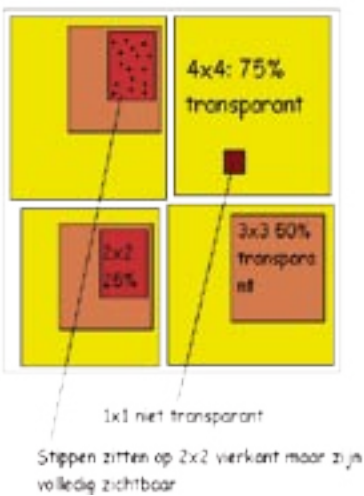
Enkele mensen hebben geprobeerd zonder het expliciet op te lossen wiskundig te beredeneren voor welke M zo'n vierkant gemaakt kon worden. Voornamelijk door te zien wanneer de sommatie een kwadraat oplevert. Helaas werkt dit niet, immers:

$$\sum_{i=0}^n i^3 = \left(\sum_{i=0}^n i\right)^2$$

Hoewel enkele mensen creatief met schaar en papier aan de slag gegaan zijn, was het antwoord hier een beetje groot voor, en zou dit wel een danige hoeveelheid geduld vereisen. Het lag dan ook voor de hand het met de computer op te gaan lossen. Je zou bijvoorbeeld voor gegeven M kunnen berekenen hoe groot het vierkant moet zijn (zie bovenstaande formule), en dit dan voorstellen als een grid van kleine vierkantjes van 1×1 . Vervolgens probeer je met passen en meten de stukjes erin te passen.

Natuurlijk is het wel zo dat je dit een beetje handig moet doen. Zo schreef Thomas ten Cate ons tijdens het periode-weekend het volgende bericht: "Het antwoord op de vraag luidt niet: 4." De dag daarop wist hij ons ook nog mee te delen dat het antwoord wel óf niet 5 is. Conceptueel was de oplossing van Thomas waarschijnlijk wel goed, maar een goed informaticus vraagt zich dan toch af "kan dat niet beter?" en kijkt of dit niet efficiënter kan.

Twan van Laarhoven en Jasper van de Gronde hebben dit wel gedaan. Zij hebben ook gekeken of alles paste, maar liepen van linksboven naar rechtsonder. Vervolgens probeerden ze op elke plaats elk vierkantje te passen. Aangezien je op deze manier geen gaten kan overhouden hoef je niet een heel grid bij te houden. Je kan in plaats daarvan bijhouden hoeveel vakjes er horizontaal en verticaal al gevuld zijn. Dit was dusdanig veel efficiënter, dat ze niet alleen het juiste antwoord met plaatje stuurden, maar ons ook wisten mee te delen dat er voor $m = 8$, het goede antwoord, 18656 mogelijke invullingen als deze waren (niet gecontroleerd door de periodiekredactie). Gefeliciteerd, jullie krijgen een boekenbon toegestuurd! •



Creatieve inzending van Writser

Een van de mogelijke correcte oplossingen van het vorige breinwerk, ingezonden door Twan en Jasper



Trader:

de onverwachte loopbaan

Ooit gedacht dat jij opties zou prijzen en verhandelen? Posities opbouwen in derivaten en aandelen? Risico management doen en handelsmodellen verbeteren? Toch hebben veel Traders een technische achtergrond. Wat onze Traders ook gemeenschappelijk hebben is hun superieure rekenvaardigheid, stressbestendigheid en besluitvaardigheid. Maak je geen zorgen, je hoeft niets van opties af te weten als je bij ons in dienst treedt. Je leert het allemaal tijdens de interne opleiding van 4 tot 5 weken. Wel moet je een aantal eigenschappen hebben die niet aan te leren zijn: een competitieve geest, een resultaatgerichte instelling en een heel goed analytisch inzicht.

Wij zoeken Traders: initiatiefrijke academici met een excellent cijfermatig inzicht – relevante werkervaring is niet vereist. We verwachten een grote zelfwerkzaamheid want je blijft leren gedurende je loopbaan

binnen Optiver. Je moet hier zelf veel tijd en energie in steken maar er staat ook veel tegenover: Optiver biedt je de kans om jezelf te ontplooien binnen een professionele, internationale handelsorganisatie. Heb jij een sterke drive om te winnen en ben je niet bang om verantwoordelijkheid te dragen? Ga naar www.optiver.com voor meer informatie over de vacatures en om te solliciteren.

Optiver handelt in derivaten, aandelen en obligaties vanuit het Amsterdamse hoofdkantoor en vanuit de filialen in Chicago en Sydney.



Optiver, Shemara van den Heuvel (Recruiter Trading), De Ruyterkade 112, 1011 AB Amsterdam, T 020 - 5319000



Optiver zoekt Traders