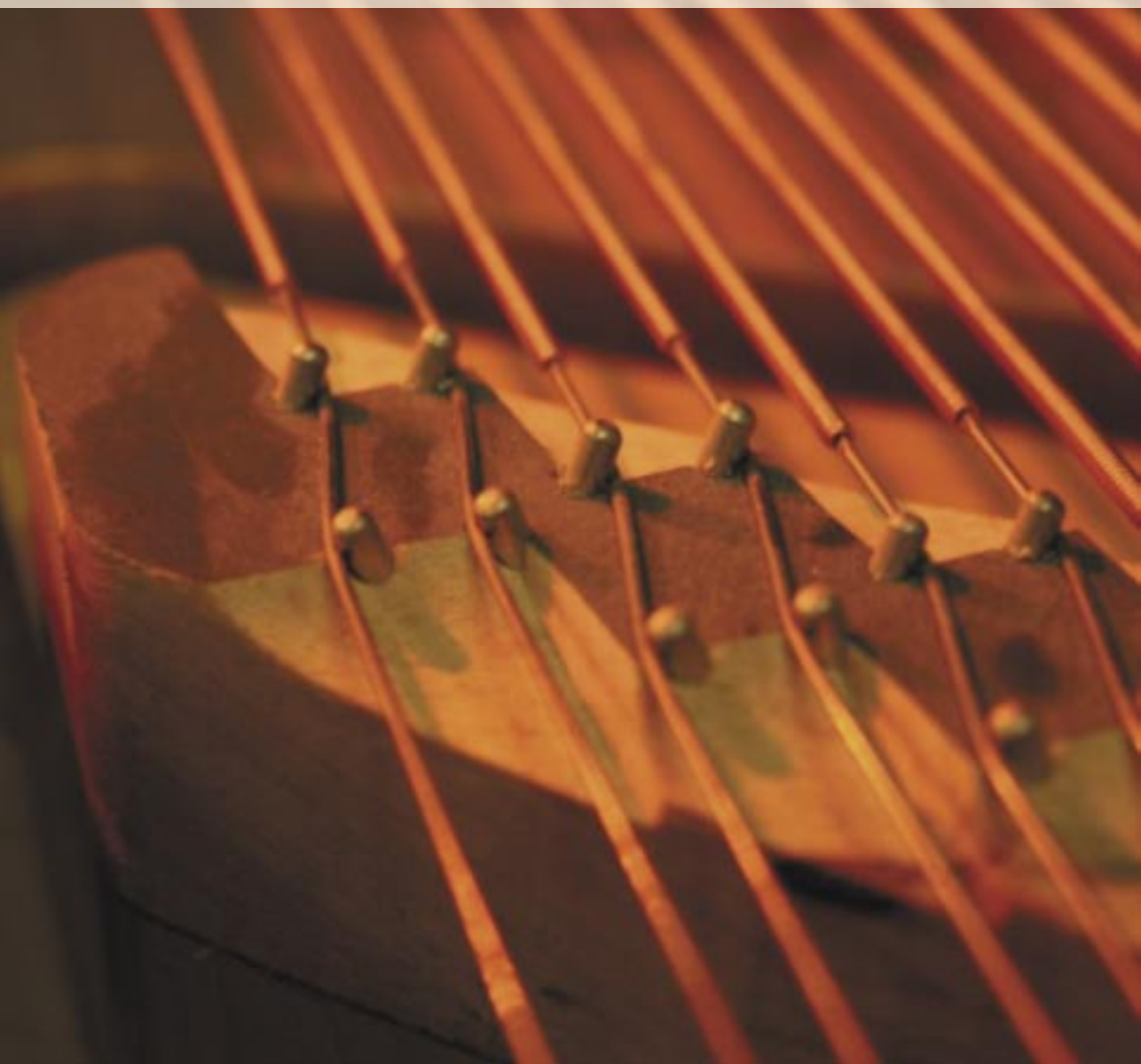


perio*diek

op regelmatige tijden terugkerend jaargang 2010 nummer 4



Inhoud



16 DIY: 3D-TV

Nu de dagen korter en regenachtiger worden, staat de televisie steeds vaker aan. Met wat knutselwerk kun je een extra dimensie aan het televisie kijken geven. Zo kijk je de nieuwste Pixarfilm op je eigen huisgemaakte 3D-TV.

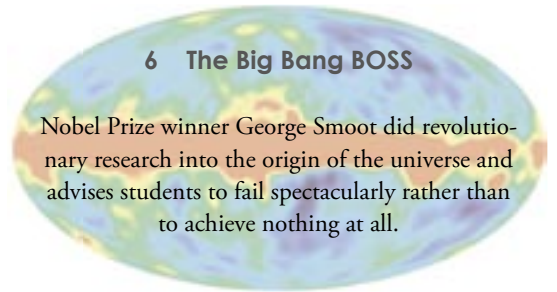
38 Kokkerellen

We gaan terug naar Ellen's jeugd voor deze allerlaatste editie van haar kookrubriek met koekjes in de hoofdrol!



6 The Big Bang BOSS

Nobel Prize winner George Smoot did revolutionary research into the origin of the universe and advises students to fail spectacularly rather than to achieve nothing at all.



En verder

- 4 In het nieuws
- 10 Het 52^e bestuur der FMF
- 12 Snaartheorie
- 20 Robuuste netwerken
- 30 Newton: appels en muntmeesters
- 32 Het bezigen van muziek
- 33 Complottheorieën
- 37 Breinwerk

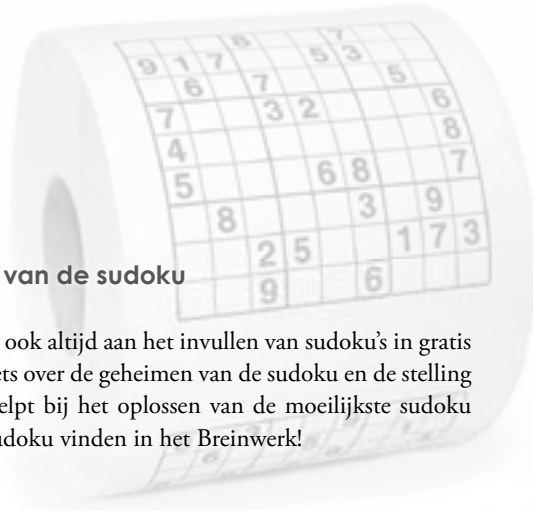
22 Veertig jaar Westerbork

Westerbork is onder de sterrenkundigen het bekendst door de machtige radiotelescopen. Dit najaar bestaat het complex al veertig jaar en dat is wel een feestje waard.



26 De raadsels van de sudoku

Verspil jij je colleges ook altijd aan het invullen van sudoku's in gratis kranten? Leer hier iets over de geheimen van de sudoku en de stelling van Tuleja, die je helpt bij het oplossen van de moeilijkste sudoku ooit. Je kunt deze sudoku vinden in het Breinwerk!



Van de redactie

In dit collegejaar is veel voor mij nieuw. Ik maak inmiddels deel uit van het 52^e bestuur der Fysisch-Mathematische Faculteitsvereniging. Tevens neem ik enthousiast plaats in de Periodiekredactie.

Als nieuwste binnen de redactie was het eerste Perioweekend lang, een weekend lang reviewen, lay-outen en nog eens reviewen. Dit gebeurt echter allemaal wel met een enorm gemotiveerde commissie, die ook nog werd bijgestaan door oud-commissieleden.

De commissie is aardig veranderd sinds vorig jaar. Ellen, Erik, Marten en Pjotr zijn ermee gestopt. Zij hebben prachtig werk geleverd, Perio na Perio, met prachtige vormgeving en interessante artikelen. Veel van hun bloed, zweet en

tranen zit in onze vorige uitgaven, die hopelijk toch niet te snel in menig papierdoos zijn verdwenen. Terecht claimden ze telkens dat iedere editie weer de mooiste ooit was.

Helaas moeten wij het nu zonder hen en hun ervaring stellen. Maar natuurlijk zetten wij hun goede werk voort, door dit jaar opnieuw prachtige Periodieken te maken.

Met het nieuwe jaar is de zoektocht naar nieuwe stukjes in volle gang. Daarom tot slot nog een oproep: doe jij interessant onderzoek, weet je een gaaf onderwerp en wil je daar over schrijven? Neem dan vooral contact met ons op!

Veel leesplezier!

— Bart

Colofon

Redactie Marion Dam, Ronniy Joseph, Susan Klooster, Herbert Kruitbosch, Bart Visser.

Scribenten Roel Andringa, Arjan Boerma, Cees Draaijer, Keimpe Nevenzeel, Ellen Schallig, Pjotr Svetachov, Sébastien Volker, Erik Weitenberg.

Met dank aan Prins Claus Conservatorium, Wendy Ellens, Ellen Schallig, George F. Smoot, Pjotr Svetachov, Marten Veldthuis, Erik Weitenberg

Adverteerders ASML (pag. 29), Flow Traders (pag. 36), Schut (pag. 40).

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

Oplage 1300 stuks

Druk Scholma

ISSN 1875-4546

De Periodiek is een uitgave van de Fysisch-Mathematische Faculteitsvereniging en verschijnt vijf keer per jaar. Eerder uitgebrachte Periodieken zijn na te lezen op perio.fmf.nl. De redactie is te bereiken via perio@fmf.nl.

In het nieuws

Hoeveel decimalen ken jij?

De meeste mensen kennen twee à drie decimalen van het getal π . Sommigen doen daar nog een schepje bovenop door het aantal decimalen gegeven door je rekenmachine uit het blote hoofd te kennen. Maar dit is natuurlijk Spielerei. Wiskundigen van Yahoo hebben namelijk onlangs de tweebiljardste decimaal gevonden van dit oude getal. Dit betekent niet dat ze alle decimalen tot het tweebiljardste decimaal kennen. Ze kennen alleen enkele decimalen ervoor en erna. Het kostte 23 dagen en 1000 computers om deze decimalen te vinden. Het tweebiljardste decimaal is overigens een nul.

kennislink.nl

Mannen (z)weten beter

Mannen rijden en drinken al beter dan de vrouwen, nu blijkt ook nog eens dat ze beter zweten. Vrouwen moeten veel harder sporten om te beginnen met zweten en als ze zweten, is het minder efficiënt dan mannen. Vooral in hete omstandigheden hebben vrouwen het zwaar. Het is al eens onderzocht dat eerder zweten betekent dat je langer door kan gaan, dus mannen zijn hier duidelijk in het voordeel. Het hormoon testosteron verbetert waarschijnlijk bij de mannen hun zweetreactie. Mannen zweten beter, vrouwen worden heter.

sciencedaily.com

CO₂ of overdosis zon

Het lijkt erop dat het opwarmen van de aarde misschien gekoppeld is aan de elfjarige cyclus van de zon. De zonne-activiteit doorgaat een cyclus van elf jaar waarin de activiteit toeneemt en weer afneemt. De gedachte was dat bij afnemende activiteit de aarde zou afkoelen en omgekeerd. Het tegenovergestelde lijkt echter waar. Bij lagere activiteit is de oppervlaktetemperatuur misschien lager, maar verschuift de piek van de stralingscurve ook naar het zichtbare licht. Onze atmosfeer is juist beter in het filteren van ultraviolet licht, dus bij meer zichtbaar licht bereikt meer energie de aarde. Zo kan de zon meer opwarming veroorzaken dan de hoeveelheid extra CO₂ van drie jaar.

nature.com

Mini-LHC

Heb je het als natuurkundige niet op grote logge kernversnellers die helemaal in Noord-Groningen of Genève staan, dan is er voor jou misschien een uitkomst. Walter van Dijk van de Technische Universiteit Eindhoven heeft een manier gevonden om deeltjes te versnellen met behulp van een laser. Men neemt hiervoor plasma en een laser. Uit het plasma schiet men met de laser de elektronen weg waardoor een elektrische golf ontstaat. Met de juiste timing schiet je met een elektronenkanon elektronen op deze golf. Als deze

golf ze oppikt, worden ze versneld. Dit allemaal zonder een logge kernversneller te gebruiken.

kennislink.nl

Warmtegeheugen

Onderzoekers van de Rijksuniversiteit Groningen zijn erin geslaagd om met behulp van een warmtestroom een deel van het magnetisch moment van een magneet over te brengen naar een ander, niet-magnetisch metaal. Solid-stategeheugens maken gebruik van de spin van deeltjes in de magneet om een bit op te slaan. Nu kan men deze spin, dus de bitwaarde, overbrengen met warmte. Op deze manier kan een bit uitgelezen worden. Nu gebeurt dit nog met elektrische stroom. Men hoopt hiermee efficiënter geheugen te kunnen maken.

rug.nl

Random getallen

Er zijn genoeg algoritmes voor het genereren van getallen die volgens de statistiek 'random' zijn, maar als deze algoritmes in verkeerde handen vallen, zijn ze nutteloos. Op het Max Planck Instituut in Duitsland heeft men een prototype gemaakt van een apparaat dat gebruik maakt van willekeurige fluctuaties van deeltjes in vacuüm. Deze wekken een ruis op als een laserstraal door het vacuüm gestuurd wordt. Deze ruis is meetbaar en kan worden omgezet in getallen. Een apparaat dat dit

Leuke nieuwtjes uit de wondere wereld der wetenschap

doet kan zo klein zijn dat het in computers past, waardoor hackers het onderscheid tussen een echt random getal en een algoritmisch bedacht getal niet meer kunnen merken, en systemen dus beter beveiligd kunnen worden.

newscientist.com



Zwart zwemt sneller

Pinguïns waren niet altijd zwart. Deze kleur hebben ze pas vrij laat in hun evolutie gekregen. Zo'n 36 miljoen jaar geleden waren pinguïns anderhalve meter groot en roodbruin of grijs van kleur. Dit blijkt uit onderzoek naar een verrassend compleet fossiel dat gevonden is in Peru. Men vermoedt dat de kleurverandering heeft plaatsgevonden omdat pinguïns er sneller van werden. De kleur wordt namelijk bepaald door melanosomen in de cellen van

de veren, die ook voor stevigheid van de veren zorgt. Melanosomen voor een zwarte kleur leveren beter gestroomlijnde veren op dan melanosomen voor de rood/bruine kleur en geven de pinguïns een voordeel ten opzichte van zeehonden, die toen nog pinguïns aten

newscientist.com

Snelle heli

Zoals een helikopterpionier eens zei: als je in nood zit, kan een vliegtuig boven je langs vliegen en bloemen gooien, terwijl een helikopter je kan redden. De meeste helikopters vliegen vandaag de dag, met zo'n 270 km/u, langzamer dan een vliegtuig. Een Amerikaanse luchtvaartbouwer heeft daarom de aloude structuur van een helikopter aangepast, zodat deze nog sneller kan en stuurbaarder is. Het proefmodel, de X2 genaamd, ziet er niet uit als een alledaagse heli. Hij heeft dan ook de kenmerken van een vliegtuig. Dit heeft geresulteerd in de snelste helikopter ooit, met een snelheidsrecord van maar liefst 435 km/h.

spectrum.ieee.org



Aardappel tegen hongersnood

Met behulp van gentechnologie hebben Indiase wetenschappers een aardappel gecreëerd die hongersnood een kopje kleiner maakt. Uit een kruidplant genaamd Amaranth hebben zij een gen geïsoleerd en dit toegevoegd aan het genetische materiaal van de aardappel. Door dit gen ontstaan aardappelen met een hoger eiwitgehalte. Het is dus mogelijk om met minder aardappel meer eiwit binnen te krijgen. Perfect voor landen met voedselschaarste. Nu is het alleen nog belangrijk om te testen of deze aardappel echt veilig is.

kennislink.nl

Nieuwe bijna-aarde gevonden

Een team planeetzoekers van de University of California hebben een exoplaneet ontdekt met een massa gelijk aan driemaal die van de aarde. Het draait op zo'n afstand van zijn ster rond dat er vloeibaar water voor zou kunnen komen. Deze bevindingen zijn gebaseerd op elf jaar aan observaties. Als dit bevestigd wordt, zal dit de meest op de aarde lijkende planeet zijn die tot nu toe gevonden is.

sciencedaily.com

The Big Bang BOSS

An interview with George Smoot

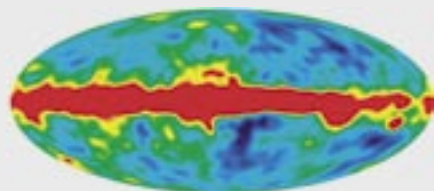
BY KEIMPE NEVENZEEL AND ELLEN SCHALLIG

In the beginning, there was light ... It travelled billions of years, through billions of light years, carrying with it the Secrets of the Universe. After more than a decade of preparation, between 1989 and 1992 a NASA satellite mapped this light for the first time, with mind-blowing results. Stephen Hawking named it “The greatest discovery of the century – if not of all time” and Newsweek headed with “The Handwriting of God”.

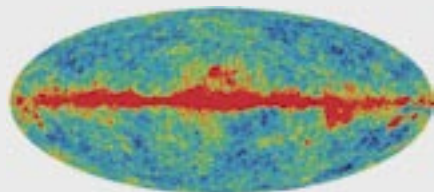
The Dutch Journal of Physics (NTvN) and the Periodiek present an exclusive interview with one of the masterminds behind the satellite: professor George F. Smoot.

The satellite which mapped the ‘first light’ played a huge role in your attainment of the Nobel Prize. Can you tell us something about it?

The satellite is named COBE (COsmic Background Explorer) and it was NASA’s first satellite which looked for the relic radiation that comes from the Big Bang: the Cosmic Microwave Background (CMB). It had three experiments on board. John Mather headed the first experiment, which measured the electromagnetic spectrum of the CMB. The experiment did extraordinarily well: it showed that, as expected, the spectrum



(a) 1992 from COBE



(b) 2003 from WMAP

FIGURE 1 Full sky CMB maps of COBE and WMAP, clearly the WMAP map is much more detailed. The colour coding shows the temperature of the CMB radiation: from red (high) to blue (low). The red structure in the middle is the galactic plane, it emits microwave radiation itself. (image from <http://map.gsfc.nasa.gov>)

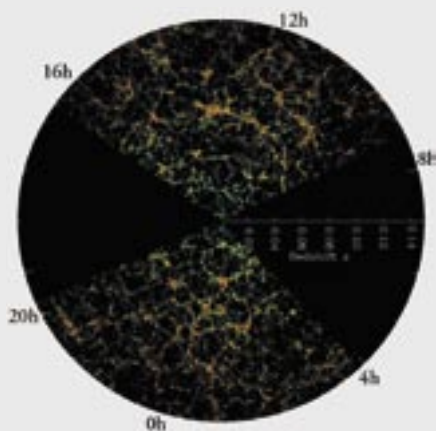


FIGURE 2 A slice through the SDSS three-dimensional map of galaxies. Earth is at the centre, since we observe from Earth. Each point represents an entire galaxy. Their colour gives information on the average age of the stars in it (from young and green to old and red). The outer circle is at two billion light years. (image from <http://www.sdss.org>)

was thermal and the energy-versus-frequency plot had a perfect black body shape. This confirmed it was the relic radiation from the beginning of the universe. The second experiment mapped the radiation intensity very precisely. I was the principal investigator for that. We measured temperature variations of 1 in 100,000! But to achieve statistical significance, we needed four years of data. The third experiment looked at the summed light from the first galaxies and stars. This gives an estimate of the number of primordial elements that have been burned to produce heavier elements.

You are also involved with the successors of COBE. What is your current research about?

The COBE satellite detected the fluctuations and the relic radiation from the Big Bang and showed it was

possible to learn a lot about the universe by measuring it more precisely. Therefore we followed up with the satellites WMAP and Planck. WMAP came ten years later and improved our knowledge of the basic parameters of the universe quite substantially. With Planck (which was launched in 2009) we hope to go another factor of ten there to try and understand the universe.

Furthermore, I have a few students and post-docs working on the Baryon Oscillation Spectroscopic Survey (BOSS) and BigBOSS. These are a continuation of the Sloan Digital Sky Survey, a survey which measured the three-dimensional positions of about one million galaxies. These new surveys will measure the position of five million respectively fifty million galaxies even more precisely.

The evolution of the universe

Just after the Big Bang the universe is extremely dense and hot. Then, between 10^{-36} and 10^{-30} seconds after the Big Bang the universe goes through the period of inflation: a stupendous exponential expansion with the inconceivable factor of 10^{-60} . This exponential expansion causes fluctuations in the energy density and consequently in the curvature of the universe. After inflation the universe continues to expand adiabatically at a slowing rate and slowing decrease in temperature. When the temperature drops below 10^{12} Kelvin, quarks can no longer exist in isolated form, and protons and neutrons form. The universe is filled with a highly energetic photon-proton-electron fluid, in which energy and curvature fluctuations result in density fluctuations. The photons, protons and electrons are coupled: in a continuous cycle protons and electrons couple to form hydrogen atoms. The atoms dissociate again almost directly after they are formed because of the enormous amount of highly energetic photons. The coupling prevents density fluctuations

from becoming too large: a high matter density results in a high number of dissociation photons and the pressure exerted by those photons reduces the density.

About 379,000 years after the Big Bang the temperature falls below the ionization temperature of hydrogen, so the photons can no longer dissociate hydrogen atoms. Consequently, photons and matter decouple. The CMB consists of the photons scattered at this moment. After decoupling, hydrogen atoms are no longer sensitive to photon pressure and gravity can proceed unimpeded: dense regions become denser and low-density regions become more and more shallow. In the course of billions of years, these density fluctuations evolve to the cosmic structure of galaxies and clusters of galaxies we see today.

The CMB power spectrum (an intensity versus solid angle graph) reveals many of the basic parameters of the universe, such as the matter density, the curvature of the universe and the Hubble parameter (a parameter related to the expansion rate of the universe).

I am also working on joining centres that have a combination of theorists and observers, to get them all working together. I have centres in Berkeley, in Korea and I am starting one up in Paris. It is good because students and post-docs are going to have collaborations and contacts from all around the world. In advanced economies less money is available for science, due to national debts. In order to do the projects you want, you have to form bigger international collaborations. For that, international contacts are important. A combination of talent, funding and experience allows you to do experiments on a bigger scale.

Besides cosmology, are there any other areas of research you pay attention to?

I have a proposal to create a large research centre for sustainable development that is structured in such a way that you naturally get collaborations between people from various disciplines. I tried to pick three areas that I thought were going to work well together: energy and climate, synthetic biology and high performance computing.

Why did you partly switch from cosmology to this very ‘down to earth’ research?

When I was young, the world was in a pretty wonderful shape. I lived in a very nice environment, where there was funding and encouragement for basic research. Now things are getting worse – of course, even in Roman times people said the same thing – but funding for and interest in basic research is going down. You have to encourage people into science and governments to fund it, because it is essential for society. Things get problematic when it comes to exploiting energy resources and solving the widespread pollution: if you can’t stop people from making nuclear weapons and exporting terror to their neighbours, how are you going to do something that is less dramatic but equally threatening on a longer term? I don’t have much hope for the governmental system working smoothly, because a lot of people are interested in keeping things the way they are. But I think that if you work on some of the serious problems in the world and come up with solutions that are not only scientific-technical but also practically applicable, people will adopt them. We

About George Smoot

George F. Smoot (1945) studied mathematics and physics at MIT. He did his PhD in particle physics, also at MIT. Together with John C. Mather he received the Nobel Prize in Physics in 2006 “for their discovery of the blackbody form and anisotropy of the cosmic microwave background radiation”.

Furthermore, in 2003 Smoot received the Albert Einstein Medal, “for outstanding scientific findings, works, or publications related to Albert Einstein” and in 2009 he was awarded the Oersted Medal, which recognizes notable contributions to the teaching of physics.



FIGURE 3 George F. Smoot at the Lindau Nobel Laureate Meeting 2010. © the authors.

have to collaborate across international boundaries to find useful solutions that will not lead to a disproportional loss of national pride or standard of living of one particular country compared to other countries.

This sustainable development research centre is an experiment for me, to see if I can do something different. I am taking big chances, but I always felt if you didn't have a couple of things failing you weren't trying hard enough. You have to take risks and if everything is a success, then either you are extraordinary lucky or you didn't take enough risk. This centre is one of very high risk, but if I do not try something like that, who will?

Motivating enough people in science is a big problem in The Netherlands as well, do you have any suggestions?

You want to motivate people when they are young, show them some interesting science and some simple math that will help them understand things better. In this way they see that they can handle it, and that math is worth putting a little more effort into¹.

Demographics plays a role in producing enough scientists as well. Consider the following: at the beginning of the 1990s there was an excess of Science PhDs in the US and Europe; by the end of the 1990's 30% of the science graduate students were Asian and by 2007 it was 46%. This is not surprising given the low birth rate in the Western world: when I was a child 25% of the world population lived in Europe, in 10 years from now it will drop below 10%. There is a huge world shift going on: the Western world will go from dominating the world to being a small part of the world, which will definitely have cultural consequences. This is interesting because it tells you can not ignore the world situation when you think about

science: you need to deal with many different cultures that in time will be as important as the European culture we are used to.

What is in your view the greatest challenge for 21st century science?

There is more than one frontier, that is what makes it interesting. Three of the great challenges are: first, understanding the physical world like the fundamental forces and the structure of space-time. Second, understanding biological systems. The third is a very different problem, which is about understanding human social systems. Once you become global you have to learn how to make global decisions, which we are not able to do so yet.

Do you have any advice for current students?

Learn how to learn, learn some basic rigour and pick the field you find really interesting and challenging. Don't worry too much about which field you pick; fields are going to move. Imagine it is a hundred years ago and someone says: "I think you should be a librarian" and you say: "Oh no, it is boring, it's only books", which librarian deals only with books now? It is much more complicated. You have to realize there is no job that people are going to have for their whole life. They may have a job with the same name for their entire life, but the job itself isn't going to be that way. You have to be ready to have more than one career in your life. •

The authors owe much gratitude to professor George Smoot for the pleasant and long interview. Furthermore, we would like to thank professor Rien van de Weygaert and drs. Claud Biemans for careful reading of the manuscript and Nature.com, in the person of Markus Pössel, for additional audio recordings.

¹ From this perspective, the new high school physics program NiNa might be a step in the right direction, see NTvN February 2008, aut.

Het 52^e bestuur der FMF

Een introductie

DOOR SÉBASTIEN VOLKER

Het is weer zover: een nieuwe collegejaar brengt ook de jaarlijkse overdracht van oud naar nieuw bestuur met zich mee. De oude gezichten verdwijnen, waar nieuwe gezichten verschijnen. ‘Nieuw’ is het woord dat circuleert binnen de FMF. Maar wat is nieuw?

Graag stellen wij ons voor als het 52^e bestuur der FMF. Ons vijfköppig bestuur bestaat volledig uit mannelijke studenten (technische) natuurkunde, die bovendien allen begonnen zijn aan hun vierde studiejaar. Tezamen een gouden team, met platinaplannen voor de FMF.

Ja, we willen er een mooi jaar van maken, voor alles en iedereen die bij de FMF betrokken is. Er is al geëxperimenteerd met een opgefriste tweewekelijkse mailing, onze prachtige commissies zijn grotendeels gevuld en plannen voor vernieuwing zijn er volop.

Dit alles zal gaan plaatsvinden onder leiding van Willem Kuipers, die dit jaar de voorzittersrol vervult en de FMF in goede banen moet leiden. Hij heeft reeds ervaring opgedaan als voorzitter van de huidige symposiumcommissie, en nu zijn de ambities groot om de FMF op de kaart te zetten. Met zijn leiderscapaciteiten hebben we er allen het volste vertrouwen in.

Hij zal hierin worden bijgestaan door de vice-voorzitter en commissaris-intern Bart Visser. Ook Bart weet hoe het is om een FMF-symposium te organiseren. Als ruggengraat van de vereniging zal hij de commissies leiding geven en zich ook in zijn bestuursjaar volop bij onze prachtige activiteiten doen gelden. Bart is uiterst gemotiveerd om iedereen te laten weten hoe gaaf de FMF is!

Als iemand hierover kan meepraten, dan is het Peter Laagland, de oudste van het stel. Deze FMF’er in hart en nieren zal de rol van secretaris met passie vervullen. Over de jaren heen heeft hij een waar hart voor de

vereniging gekregen, maar hij had desondanks nooit gedacht ooit nog eens bestuurslid te worden. En toch is het gebeurd! Vol trots zal hij zich net als de rest van het bestuur gaan inzetten voor zijn vereniging.

Herman van Leijen, de enige niet-noorderling, hoopt als penningmeester dit jaar een financieel gezonde vereniging te mogen leiden en een groot aantal prachtige activiteiten te kunnen boekhouden. Het vak penningmeester is hem niet geheel onbekend en hij is blij deze functie te mogen vervullen. Herman zal je bovendien altijd positief blijven verrassen.

Tot slot zal de benjamin van het bestuur, Sébastien Volker, de taken van commissaris-extern met plezier op zich nemen. Extern is een woord dat echt in zijn bloed zit: gestudeerd in de VS, een liefhebber van reizen, grootsheid en avontuur. Bovendien is hij een echte doorzetter die altijd zijn ambitieuze doel wil bereiken.

Ambitieuze zijn we als bestuur allemaal. We proberen de kamer op te frissen, onder andere door het plaatsen van een LCD-scherm waar activiteiten op kunnen worden gepromoot en waar foto’s op zijn te zien. Samen willen we proberen de NSFV er netjes uit te laten zien, als bestuur streven we ernaar de kamer regelmatig op te ruimen. Mede door de aanwezigheid van een commissaris-intern willen we ervoor zorgen dat

er dit jaar onvergetelijke activiteiten en excursies georganiseerd worden. Sommige commissies zijn nieuw leven ingeblazen, waar andere wederom zijn gevuld met enthousiaste mensen. Om in goed contact te blijven

*“Ambitieuze zijn we
als bestuur allemaal”*

met onze leden, hebben we het koffie-uurtje weer ingevoerd. Het ideale moment om onder het genot van een bakje koffie en thee elkaar als leden onderling beter te leren kennen.

Je hoort het al: het 52^e bestuur hoopt de FMF naar een hoger plan te helpen en de FMF voor de 51^e keer een hernieuwde glimlach te geven. Maar het bestuur is helemaal niets waard zonder de leden van diens vereniging. De leden die afreizen naar Australië voor een studiereis, meegaan op bedrijven-

*“Het 52^e
bestuur hoopt
de FMF naar
een hoger plan
te helpen”*

excursies of maandelijks gezellig borrelen. De leden die elke dag, al is het maar voor het academische kwartiertje, in de NSFV langskomen voor een warm drankje, een potje Mario Kart of een leuk gesprek. Ja, onze FMF'ers, daar doen we het tenslotte allemaal voor.

Beste lezer, reken er maar op: het 52^e bestuur der FMF zal dit jaar prominent aanwezig zijn en diens leeftijd aan weken de vereniging proberen te doen groeien en bloeien! •



Van links naar rechts: Peter Laagland, Willem Kuipers, Sébastien Volker, Bart Visser & Herman van Leijen

Snaartheorie

Intellectuele dwaling of deur naar nieuwe realiteit?

DOOR ROEL ANDRINGA

Tijdens de laatste eeuw aan natuurkundig en wiskundig onderzoek heeft de fundamentele natuurkunde naar een theorie geleid over het universum die meer dan ooit gestoeld is op wiskundige redenering en zo het universum op het meest fundamentele niveau te verklaren via snaren. Is men op de juiste weg, of is de fundamentele natuurkunde verzand in exotische wartaal?

Het begin van de moderne natuurkunde begon ruwweg een eeuw geleden. In 1900 vond Max Planck dat bepaalde problemen omtrent straling opgelost kon worden door te veronderstellen dat straling alleen in discrete pakketjes wordt uitgezonden die hij "kwanta" noemde. Dit idee resulteerde in de jaren daarna in de zogenaamde kwantummechanica. Deze theorie over de wereld op atomaire schaal staat bekend om het feit dat ze op bepaalde vlakken onze intuïtie volledig tegenspreekt. Desondanks heeft de theorie decennia van falsificatiepogingen overleefd.

Vijf jaar na Plancks ontdekking kwam Einstein met de speciale relativiteitstheorie die onze notie van ruimte en tijd, zoals ingegeven door mensen als Isaac Newton en Galileo Galileï, volledig op haar kop zette. Ruimte en tijd bleken niet onafhankelijk van elkaar te zijn maar gekoppeld. De hint dat Newtons ideeën over ruimte en tijd niet klopten werd eind 19^e eeuw al gegeven door Maxwells vergelijkingen van het elektromagnetisme. Deze lijken te suggereren dat licht een elektromagnetische golf is en dat de lichtsnelheid voor elke waarnemer gelijk is, iets dat met Newtons notie van ruimte en tijd onmogelijk is. Metingen aan de



lichtsnelheid wezen ook uit dat de lichtsnelheid onafhankelijk is van de waarnemer. Einstein nam dit idee als uitgangspunt voor zijn speciale relativiteitstheorie en dit mondde tien jaar later uit in zijn magnum opus: de algemene relativiteitstheorie. Hiermee verenigde Einstein zijn nieuwe notie van ruimte en tijd met de zwaartekracht. Het gevolg was dat ruimte en tijd, die eeuwenlang gezien werden als een vast podium waarop alles zich afspeelt, door Einstein als dynamisch werden verondersteld. Wat wij als zwaartekracht ervaren, is volgens Einstein niets anders dan de kromming van ruimtetijd!

In de jaren daarna werd de kwantummechanica verenigd met de speciale relativiteitstheorie in een theorie die bekend staat als het standaardmodel. Hoewel de naam anders doet vermoeden, is dit een theorie die drie van de vier fundamentele natuurkrachten op een kwantummechanische en fenomenologisch uiterst succesvolle wijze beschrijft: het elektromagnetisme en de twee zogenaamde kernkrachten. Hiermee werden de algemene relativiteitstheorie en het standaardmodel de twee grote pijlers van de fundamentele natuurkunde. Echter, de aard van zwaartekracht blijkt heel anders te zijn dan de aard van de drie andere krachten in het standaardmodel. Zo wordt zwaartekracht door Einstein beschreven als de kromming van de ruimtetijd, terwijl de overige drie krachten in het standaardmodel worden beschreven via de uitwisseling van deeltjes genaamd bosonen. Ook kennen beide theorieën vrije parameters die tot nu toe alleen experimenteel vastgelegd kunnen worden en theoretisch niet kunnen worden verklaard. Voorbeelden hiervan zijn de massa's van de verschillende gemeten deeltjes. Nu is één van de heilige gralen van de moderne natuurkunde deze twee pijlers samen te voegen en hopelijk deze parameters te verklaren. Oftewel: unificatie!

Einsteins beschrijving van zwaartekracht als gekromde ruimtetijd blijkt op meerdere vlakken echter erg moeilijk verenigbaar te zijn met de kwantummechanica. Rechtstreekse toepassingen van de kwantummechanica op Einsteins algemene relativiteitstheorie leveren

steevast oneindigheden op. In de fysica betekenen oneindigheden vaak dat er iets over het hoofd wordt gezien. Het idee dat alle deeltjes die in ons universum voorkomen eigenlijk excitaties van snaren zijn, objecten met ruimtelijke afmetingen, lost een deel van deze problematiek op. Maar er worden ook weer problemen gecreëerd! Het idee achter snaartheorie is dat alle deeltjes, maar ook de ruimte en tijd waarin deze deeltjes bewegen, verschillende trillingstoestanden zijn van snaren. Was de kwantummechanica al tegenintuïtief, de snaartheorie doet daar nog een flinke schep bovenop. Zo kent de ruimte in snaartheorie meer dan drie dimensies en zijn er naast de één-dimensionale snaren ook nog hogerdimensionale objecten die we branen noemen. Desondanks ontketende de snaartheorie begin jaren tachtig een ware revolutie en werd het door sommige mensen zelfs bestempeld als de “theorie van alles”.

Supersnaartheorie

Supersymmetrie is een cruciaal ingrediënt voor snaartheorie. Het relateert kort gezegd de eerder genoemde bosonen die de krachten in het standaardmodel overbrengen aan de fermionen die de alledaagse materie om ons heen vormen zoals elektronen en quarks. Een snaartheorie die deze symmetrie bevat, wordt heel verrassend “supersnaartheorie” genoemd en het lijkt erop dat alleen de supersnaartheorieën hout snijden.

Supersnaartheorie is niet alleen exotisch, maar ook controversieel. Een belangrijk verschil met de algemene relativiteitstheorie en het standaardmodel is de experimentele verificatie. Einstein leidde zijn algemene relativiteitstheorie voor een groot deel af met als uitgangspunt wiskundige consistentie, symmetrie en elegantie, maar experimentele verificatie wees uit dat de theorie ook daadwerkelijk overeenkwam met de wereld om ons heen. Bij de ontwikkeling van het standaardmodel speelde experimentele input via bijvoorbeeld deeltjesversnellers een nog grotere rol. Tot nu toe blijkt het lastig, hoewel niet onmogelijk, om snaartheorie aan de wereld zoals we die waarnemen

te toetsen. De motivatie van supersnaartheorie is dan ook voor het grootste deel wiskundige consistentie, symmetrieën en elegantie. Volgens critici van de supersnaartheorie is dit een slechte zaak, omdat men daarmee natuurwetenschappelijke argumenten in zou ruilen voor puur wiskundige argumenten en hiermee metafysica bedrijft in plaats van fysica. Onder andere Lee Smolin heeft populair-wetenschappelijke boeken geschreven met de mening dat supersnaartheorie haar grote beloftes uit haar begintijd niet heeft kunnen waarmaken. Daarbij is volgens critici de wiskundige elegantie schromelijk overdreven.

Meer dan drie dimensies

Dit is niet geheel onterecht. In de beginjaren van supersnaartheorie leek de theorie erg strikt. Zo is de theorie alleen consistent met Einsteins relativiteitstheorie in een heel specifiek aantal ruimtetijd-dimensies, terwijl bij andere theorieën dit aantal dimensies in zekere mate vrij is. Het werd al eerder genoemd dat supersnaartheorie meerdere ruimtelijke dimensies eist. De theorie voorspelt dat het aantal ruimtelijke dimensies negen is in plaats van de ons bekende drie. Deze extra zes dimensies worden niet direct waargenomen, en dus wordt geponeerd dat ze erg klein zijn en daarom aan onze aandacht zijn ontsnapt. Ze moeten dus worden “opgerold”, of “gecompactificeerd”.

Voor critici kan dit als een belachelijk argument klinken, maar voorstanders beargumenteren dat de meetkunde van deze extra dimensies wellicht de verschillende eigenschappen van het standaardmodel en de algemene relativiteitstheorie kunnen verklaren. Daarbij komt dat supersnaartheorie slechts één vrije parameter kent, namelijk de snaarlengte. Snaartheorie heeft hiermee de potentie om te kunnen verklaren waarom de vrije parameters van het standaardmodel en de algemene relativiteitstheorie nu juist de specifieke waarden hebben die gemeten worden. Dat deze dimensies nog niet zijn waargenomen zegt niet zo veel; de kwantummechanica werd in het begin ook exotisch gevonden omdat onze dagelijkse ervaring simpelweg

niet bekend is met kwantummechanische fenomenen. Het grote probleem is echter dat het aantal mogelijkheden om deze extra dimensies op te rollen onvoorstelbaar groot is. Dit staat in schril contrast met de eerdere claim dat supersnaartheorie heel restrictief is en temperde het oorspronkelijke enthousiasme over deze potentiële “theorie van alles” behoorlijk.

Een andere reden waarom voorstanders van snaartheorie zo enthousiast zijn, is het feit dat zwaartekracht al in de theorie opgenomen lijkt te zijn! Snaren kunnen wiskundig gezien open of gesloten zijn. Wanneer de theorie consistent wordt gemaakt met de kwantummechanica en de trillingstoestanden van gesloten snaren wordt onderzocht, dan komt er een deeltje in het spectrum voor wat zwaartekracht kan overbrengen. Daarbij is er om consistentieredenen een bepaalde schaalsymmetrie op de snaar nodig. Deze schaalsymmetrie geeft nu bij de eerste benadering precies de vergelijkingen van de algemene relativiteitstheorie voor dit deeltje. Hier komt dan ook de claim vandaan dat supersnaartheorie zwaartekracht “voorspelt”. Daarbij blijkt supersnaartheorie vrij te zijn van zogenaamde anomalieën, kwantummechanische effecten die symmetrieën kunnen verstoren. Dit laatste feit ontketende de eerste supersnaartheorie in 1984, waarbij fysici massaal werden overtuigd van haar potentie.

Verschillende soorten

Er zijn meerdere snaartheorieën. Wiskundige consistentie en ingrediënten als supersymmetrie geven om precies te zijn vijf verschillende snaartheorieën. Dit was lange tijd een mysterie, maar in 1995 toonde Edward Witten aan dat deze vijf theorieën aan elkaar gerelateerd zijn via bepaalde symmetriën. Hiermee poneerde hij een overkoepelende theorie die hij “M-theorie” doopte, waarbij de “M” voor “Mother” kan staan. Eerder werd beargumenteerd dat snaartheorie restrictief is, en het verband wat Witten vond tussen de verschillende snaartheorieën klonk mensen die snaartheorie als “theorie van alles” zagen dan ook als muziek in de oren. Het werd eerder echter al opge-

merkt dat het oprollen van de extra dimensies heel erg veel verschillende theorieën oplevert. Voor mensen die snaartheorie zien als de unieke theorie van alles is dit vanzelfsprekend een enorm probleem.

Je kunt de situatie echter ook omdraaien, en stellen dat snaartheorie ons misschien probeert te vertellen dat deze unieke theorie helemaal niet bestaat. Het enorme aantal mogelijke supersnaartheorieën wordt door fysici ook wel het “snaarlandschap” genoemd. In de literatuur komen aantallen voor in de orde van 10^{1500} , een getal wat voorbij elke voorstelling gaat. Zo wordt het aantal atomen in het zichtbare universum geschat op 10^{80} ! Elk punt in dit landschap stelt ruwweg één specifieke oprolling van de extra dimensies voor, en dus één specifieke snaartheorie.

De interpretatie van dit snaarlandschap is nogal controversieel. Tegenstanders zien dit landschap als onwetenschappelijk omdat supersnaartheorie op deze manier bijna onmogelijk te falsificeren is. Met dit enorme aantal mogelijkheden zal er ongetwijfeld ergens een punt in het snaarlandschap te vinden zijn wat overeenkomt met waarnemingen, en de theorie verliest hiermee haar voorspellende vermogen. Anderen, waaronder Leonard Susskind, zien het juist als oplossing voor een vraagstuk wat als “finetuning” bekend staat. Dit vraagstuk is het gevolg van de waarneming dat als bepaalde vrije parameters in het standaardmodel en de algemene relativiteitstheorie marginaal zouden worden veranderd, het resultaat een volstrekt ander universum zou zijn. Deze onverklaarbare vrije parameters lijken als het ware heel fijn afgesteld op leven. Susskind grijpt het snaarlandschap echter aan om te stellen dat we slechts één punt in dat immense snaarlandschap zijn en dat er dus helemaal geen sprake is van finetuning. Wij zijn “slechts” één van de 10^{1500} verschillende mogelijkheden voor universums. Men had dus volgens Susskind vanaf het begin geen unieke unificatie moeten verwachten! Op dit moment is de interpretatie van het snaarlandschap nog een open vraagstuk, maar veel fysici classificeren dit idee van een multiversum eerder als metafysica dan als fysica.

Vragen die snaartheoretici zichzelf kunnen stellen zijn de volgende: ‘In hoeverre moet je als wetenschapper wiskundige consistentie en elegantie als uitgangspunt nemen?’ ‘Is men met snaartheorie niet te ver afgevoerd van experimentele input?’ ‘Moeten we bij de unificatie van de algemene relativiteitstheorie en het standaardmodel een unieke theorie verwachten en hoe moeten we het snaarlandschap interpreteren?’ En wellicht de allerbelangrijkste vraag waarop geen enkele snaartheoreticus op dit moment antwoord kan geven: ‘Wat is snaartheorie nu precies en wat kan het verklaren?’ Snaartheorie lijkt een theorie van snaren te zijn, maar er werd al eerder opgemerkt dat er waarschijnlijk een onderliggende theorie genaamd “M-theorie” aan ten grondslag ligt. Over M-theorie is nog vrij weinig bekend, het zou kunnen dat een beter begrip hiervan het probleem omtrent het snaarlandschap oplost.

De luxe die men had toen het standaardmodel en de algemene relativiteitstheorie werden ontwikkeld was experimentele verificatie, maar tegenwoordig is de theorie het experiment ver vooruit gegaan. Het gevolg is een onzekere zoektocht, een soort tasten in het duister, waarbij het niet zeker is wat er als leidraad genomen moet worden. Supersnaartheorie is wellicht niet meer die unieke theorie waar ze eerst voor werd gehouden. Maar ze is wel een uitermate fascinerende speeltuin waarin mogelijk ideeën worden opgeworpen die een volgende paradigmaverschuiving in de natuurkunde teweeg kan brengen, zoals honderd jaar geleden. En dat alleen al maakt het onderzoeken ervan waard. •

Referenties:

- [1] Zwiebach, B., *A first course in string theory*
- [2] Gubser, S., *The little book on string theory*
- [3] Greene, B., *The elegant universe: superstrings, hidden dimensions and the quest for the ultimate theory*
- [4] Smolin, L., *The Trouble With Physics: The Rise of String Theory, The Fall of a Science, and What Comes Next*
- [5] Green, M., Schwarz, J., Witten, E., *Superstring theory: volume 1, introduction*

DIY: 3D-TV

DOOR PJOTR SVETACHOV

In de jaren 50 begon de televisie heel populair te worden. Mensen keken liever thuis tv dan dat ze naar de bioscoop gingen. Om mensen toch in de bioscoop te krijgen introduceerde de filmindustrie de 3D-film. Het werd een succes en de jaren 1952-1955 waren een soort gouden tijdperk voor 3D. He-
laas was het maken van 3D-films te duur en ging de filmindustrie over naar andere methodes om bezoekers te trekken, namelijk breedbeeld en *surround sound*. Tegenwoordig heeft bijna iedereen een flinke thuisbioscoop in huis en probeert de filmindustrie iedereen weer te trekken met 3D-films. Waar ze alleen niet op bedacht waren is dat het nu mogelijk is om je thuisbioscoop uit te breiden met een 3D-televisie.

Als je in de Mediamarkt langs de televisies loopt dan valt de 3D-TV je misschien wel als eerste op. En als tweede het prijskaartje van enkele duizenden euro's dat eraan hangt. Gelukkig is het mogelijk om zelf een 3D-beeldscherm te bouwen voor een paar honderd euro. "Echt waar?" hoor ik je denken.

Hoe werkt zo'n tv dan? En hoe komt het dan dat deze televisies zo veel kosten? In dit artikel leg ik de werking van verschillende 3D-schermen uit. Zowel schermen waar je een bril bij nodig hebt, als schermen die ook 3D-beelden laten zien zonder bril. De laatste categorie blijkt ook nog eens makkelijker te maken.



FIGUUR 1 Ponzo-illusie



FIGUUR 2 Stereoscoop

Breinbrekers

Het menselijk visueel systeem is geavanceerd. Het kan bijvoorbeeld objecten onderscheiden. Maar het kan ook beelden van beide ogen combineren om zo een 3D-beeld te vormen. Hoewel je visueel systeem heel slim is, kan deze toch makkelijk voor de gek worden gehouden. Denk hierbij aan de tekeningen van Escher. Je visuele systeem maakt namelijk heel veel aannames over wat je ziet, in figuur 1 is bijvoorbeeld de beroemde Ponzo-illusie te zien. De twee strepen zijn even groot, maar omdat je denkt dat de rechter zich ver op de achtergrond bevindt ten opzichte van de linkerstreep, lijkt de linker veel groter.

Vaak is het handig dat je hersenen dit soort aannames maken. Stel je ziet een cirkel op de tv, als je er recht van voren naar kijkt, is het ook precies een cirkel, kijk je er schuin tegen aan dan ziet de cirkel er uit als een ellips. Toch weten je hersenen deze ellips om te buigen naar een cirkel, omdat je doorhebt dat je onder een hoek naar een plat vlak kijkt. Handig of niet?

Stereoscopie

Het is ook makkelijk om zo je hersenen te laten geloven dat ze 3D zien. Al in 1838 bedacht Charles Wheatstone de stereoscoop (zie figuur 2). Door twee foto's te maken, eentje voor je rechter- en eentje voor je linkeroog kon men zo foto's in 3D zien. In een stereoscoop worden twee foto's naast elkaar gelegd. Voor elke foto zat een lens. Deze lenzen zorgen ervoor dat het brandpunt van je ogen heel ver naar achteren wordt verschoven, hierdoor gaan je ogen zichzelf parallel opstellen en daardoor is het mogelijk om beide foto's te zien.

Dit was in de 19^e eeuw natuurlijk heel leuk maar niet erg praktisch om films mee te kijken. Men zocht naar een manier om de beelden te mengen en zo op een scherm te toveren. Een manier om dit te doen is door het gebruik van verschillende kleuren voor het linker- en rechteroog. Men doet dan een speciale bril op met twee bijpassende kleurenfilters. Vaak worden de kleuren rood en blauw hiervoor gebruikt (zie figuur 5). Op

deze manier kan je 3D zien, maar verlies je wel kleur-perceptie. Hier is al snel een oplossing voor gevonden, licht bestaat namelijk uit verschillende golflengtes en bepaalde kleuren horen bij bepaalde golflengtes. De kleur blauw zit bijvoorbeeld tussen 420 nanometer (nm) en 490 nm. Wat je nu kan doen is een filter maken die het licht met de golflengtes rond de 435 nm naar je rechteroog stuurt en rond de 475 nm naar je linkeroog. Nu zou je met alleen de kleur blauw en de verschillende tinten ervan al 3D-beelden kunnen maken. Als je nu filters van verschillende kleuren combineert, kan je een bril maken voor beide ogen. In figuur 6 is een 3D-bril van Dolby te zien die dit doet, helaas zijn dit soort brillen duur om te maken.

Polarisatie

Tijdens het gouden tijdperk van 1952-1955 werd voornamelijk gebruik gemaakt van polarisatie van licht om 3D-beelden te maken. Licht is namelijk een trillende golf die bepaalde richtingen op kan trillen. Bij polarisatie wordt er gebruikt gemaakt van twee projectors met speciale filters die ervoor zorgen dat het licht uit de ene projector horizontaal trilt en het licht uit de andere projector verticaal trilt. Met brillen die speciale glazen bevatten is het mogelijk om alleen één van de twee trillingsrichtingen door te laten. De brillettjes zelf zijn heel goedkoop en juist hierdoor wordt het systeem zelfs tot op de dag van vandaag nog steeds in de bioscopen gebruikt. Het is ook mogelijk om één projector te gebruiken die door middel van een filter, bestaand uit een vloeibaar kristal, snel de polariteit kan schakelen.

Sluiterbril

Polarisatie is leuk, maar het is niet praktisch in de huiskamer omdat je dan gebruik moet maken van projectoren. Voor gewone televisies wordt een sluiterbril gebruikt. In deze bril zitten twee glazen met daarin een vloeibaar kristal. Door er een stroom doorheen te sturen kunnen deze glazen doorzichtig worden. Door dit om en om te doen kun je zo het rechter- en linkeroog om de beurt een beeld geven. Dit moet wel heel snel gebeuren anders lijkt het beeld te flinkeren. Hier-

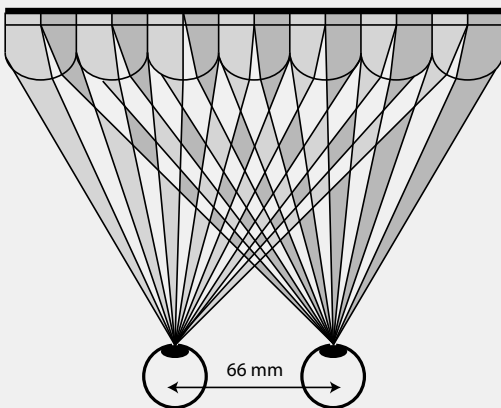
voor is dus een snel beeldscherm nodig. Het is ook nodig de bril te synchroniseren met je beeldscherm. Dit wordt meestal gedaan via een infraroodsignaal. Een sluitbril kun je al maken met ongeveer 35 euro aan componenten. Er is wel enige ervaring vereist voor het maken van elektrische netwerken omdat de bril moet worden aangestuurd. In [1] is meer informatie te vinden over de benodigde spullen inclusief broncode voor het aansturen van de bril.

3D zonder bril

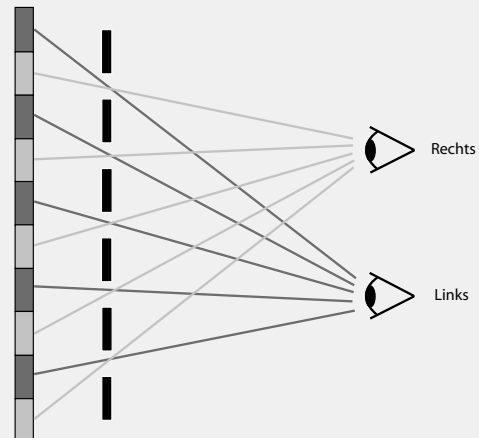
Waarschijnlijk heb je vroeger wel eens met van die plaatjes gespeeld die onder bepaalde hoeken een ander beeld geven. Dit wordt ook wel *lenticular printing* genoemd. Het plaatje bestaat eigenlijk uit twee verschillende plaatjes die in elkaar geweven zijn. Voor het plaatje zit een laag van kleine lenzen die ervoor zorgen dat je onder een bepaalde hoek alleen het ene plaatje ziet en niet het andere. Als je je hoofd op de goede plek zet kun je met het ene oog het ene plaatje zien en met je andere oog het andere. Een voorbeeld hiervan is te

zien in figuur 3, dit voorbeeld is in 1D maar het is ook in 2D mogelijk. Dit kan door ronde lenzen te gebruiken in plaats van staafvormige lenzen. In [1] staat ook een handleiding hoe je zelf een lenticular beeldscherm maakt, voor 50 euro kun je namelijk een plaat kopen met allemaal kleine lenzen, deze plaat kun je over een bestaand scherm plaatsen. Dat is het makkelijke gedeelte, de moeilijkheid zit hem in het genereren van speciale plaatjes die er op jouw beeldscherm goed uitzien. Hiervoor kun je in [1] matlab- en povraycodes downloaden. Het probleem met deze methode is dat je alleen een 3D-beeld ziet op een bepaald punt, de zogenaamde *sweet spot*. Een ander probleem is dat je in feite de resolutie in beide richtingen halveert.

Een nieuwe techniek die in opkomst is, is er één die gebruikt maakt van een *parallax barrier*. Wat deze in feite doet, is een rooster voor het scherm plaatsen die ervoor zorgt dat je recheroog andere punten op het beeldscherm ziet dan je linkeroog, zie figuur 4 voor een voorbeeld. Hoeveel kost zo iets? Nou, pak een lege overheadsheet en print er een steepjespatroon op en je



FIGUUR 3 Het lenticular principe



FIGUUR 4 Parallax barrier



FIGUUR 5 Bril met rode en blauwe kleurenfilters



FIGUUR 6 3D-bril van Dolby

bent in feite klaar. Natuurlijk wil je in het echt een wat fijner patroon en hierdoor zal het je wat meer kosten. Een streepjespatroon werkt net zoals staafvormige lenzen, maar dan in 1D, dus je kan je hoofd niet draaien. Om dit te voorkomen kun je een patroon printen met allemaal zwarte vakjes met erin een doorzichtig vakje. Deze techniek heeft hetzelfde probleem als lenticular printing met nog een extra probleem, je scherm moet namelijk een goede backlight hebben want in feite blokkeer je met zo'n rooster een deel van het licht.

Misschien vraag je je af wat nu het nut van een parallax barrier is. Een parallax barrier hoeft namelijk niet te bestaan uit een stuk doorzichtig papier met een vast patroon erop. In praktijk wordt een tweede lcd-scherm gebruikt die over het originele scherm heen zit. De kracht zit hem in het streepjespatroon dat nu aan te passen is. Door middel van een webcam op de monitor kan men de ogen volgen en het patroon zo aanpassen dat vanuit elk punt een goed 3D-beeld te zien is. De volgende handheld van Nintendo, de 3DS, schijnt dit systeem te gaan gebruiken.

De bovenste twee technieken hebben wel het probleem dat als je meer sweet spots creëert, de resolutie lager wordt. Dit is ook waarom 3D-TV's duur zijn, de tv's moeten een abnormale resolutie hebben. Toch zijn fabrikanten er in geslaagd om 3D-HDTV's met wel acht sweet spots te maken.

De volgende stap is dan het in de tijd laten veranderen van de parallax barrier, net zoals met een sluitbril. Beelden zijn om en om te zien, hierdoor kan ervoor gezorgd worden dat het oog elk tijdstip het deel van het scherm te zien krijgt dat tijdens de vorige tijdstap voor het andere oog bedoeld was. Dit wordt gedaan door met de parallax barrier de frames om te draaien. Als er snel genoeg heen en weer geschakeld wordt, zullen de hersenen, net als met sluitbrillen, het geschakel niet merken. Hiermee is het resolutieprobleem meteen opgelost. Helaas is deze techniek nog nieuw en bestaan er alleen nog maar prototypes van deze beeldschermen.

Hoe lang zal het nog duren voordat iedereen goedkoop een 3D-beeldscherm kan aanschaffen? Als je niet bang bent om een beetje te experimenteren, kun je er zelf een maken zonder veel geld kwijt te zijn. De echte vraag is: als iedereen eenmaal een 3D-televisie heeft, wat gaat de filmindustrie doen om mensen toch naar de bioscoop te lokken? •

Referenties

- [1] <http://web.media.mit.edu/~mhirsch/byo3d/>

Robuuste netwerken

DOOR ERIK WEITENBERG EN HERBERT KRUITBOSCH

Wanneer je aan het bellen bent met iemand, wordt er zonder dat je het doorhebt veel voor je geregeld. Zoiets gaat niet vanzelf: iemand kan bijvoorbeeld een GSM-paal, die jij aan het gebruiken was, omver rijden. Het is handig als het telefoonnet zo gebouwd is dat het dan nog steeds functioneert.

Om dat mogelijk te maken, wordt veel onderzoek gedaan naar de robuustheid van netwerken. Een deel van dit onderzoek gebeurt bij de Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek, ook bekend als TNO.

Wendy doet zulk onderzoek bij TNO voor haar masterscriptie voor wiskunde. Ze heeft zowel een begeleider bij TNO als bij haar universiteit. Wanneer ze bijvoorbeeld wil weten hoe een telefoonverbinding tot stand komt kan ze dat makkelijk aan haar collega's vragen, terwijl ze tegelijk ziet hoe wiskunde wordt toegepast. Uiteindelijk draagt haar onderzoek bij aan het kennisniveau van TNO.

Een kwestie van maten

Netwerken komen vaak voor in ons dagelijkse leven. Het internet is misschien wel het bekendste netwerk, maar mobiele (en vaste) telefoons en hun centrales vormen ook een netwerk. Dit zijn communicatienetwerken. Daar blijft het echter niet bij; ook de wegen en rails vormen een netwerk. Zelf zit je ook in een netwerk van vrienden en kennissen.

Wendys onderzoek bij TNO richt zich op de robuustheid van zo'n netwerk. Het is namelijk belangrijk voor bijvoorbeeld de NS om te weten wat de zwakke punten zijn in het treinenet: als alle treinen over Amersfoort gaan en daar allemaal moeten stoppen bij spoor 1, ontstaat er nogal wat chaos als daar de bovenleiding ineens uitvalt. Robuustheid is dus de storingsgevoeligheid van een netwerk.

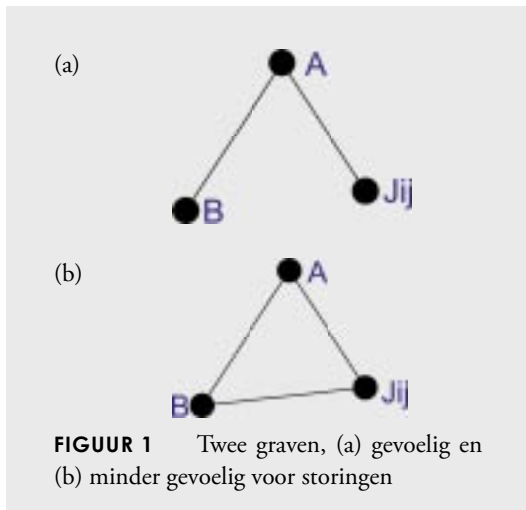
Om robuustheid te kunnen onderzoeken is het handig om een netwerk op een wiskundige manier te bekijken: als een graaf. Een graaf is een verzameling punten, of knopen, met lijnen daartussen. Iedere lijn stelt een verbinding voor, bijvoorbeeld tussen steden.

Maar wat betekent nu robuustheid? Stel nu dat jij verbinding wilt met een vage kennis, Bob. Je hebt zijn nummer niet, maar Anna wel, dus je maakt verbinding via haar. Als Anna's telefoon stuk gaat, kun je geen verbinding meer maken met Bob en zijn jullie drie losse punten geworden. Een graaf waarin je niet van ieder punt naar elk ander punt kunt komen, heet onsamenhangend. Als jij Bobs nummer had gevraagd voor Anna's telefoon brak, kon je wel verbinding maken en had jullie graaf eruitgezien als in figuur 1b. Deze laatste graaf zou je robuuster kunnen noemen dan de eerste, want als iemand verdwijnt kunnen de overige personen nog wel communiceren.

Als je een graaf hebt kun je kijken hoeveel verbindingen je moet verbreken voordat de graaf onsamenhangend wordt. Hoe meer dat er zijn, hoe robuuster je graaf is. Daarom noemen we dat aantal verbindingen wel een maat voor robuustheid. Er zijn meerdere maten, en dit is een vrij simpele.

Een tweede maat die van pas komt, is afkomstig uit de elektrotechniek. Ook daar kent men netwerken, namelijk 'apparaten' en de draden ertussen. Het is mogelijk de effectieve weerstand te berekenen van een schakeling. Dit principe blijkt ook erg nuttig te zijn bij communicatienetwerken: lange paden hebben meer weerstand en veel paden maken samen minder weerstand, wat soms ook opgaat in andere netwerken.

De derde en laatste maat die we bespreken is iets ingewikkelder. Het is mogelijk om een graaf weer te geven als een matrix, de aangrenzendheidsmatrix. Op plek (i,j) in deze matrix staat dan een 1 als er een verbinding is tussen knoop i en knoop j , en anders een 0. Als je de Laplaciamatrix, die op de diagonaal het aantal verbindingen vanuit elke knoop bevat, neemt en daar vervolgens de aangrenzendheidsmatrix vanaf trekt, ontstaat een nieuwe matrix. De tweede eigen-



waarde van deze nieuwe matrix is een goede maat voor de robuustheid van een graaf. Hieronder zie je de berekening voor de graaf in figuur 1a:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \end{pmatrix}$$

De eigenwaarden hiervan zijn 0, 1 en 3, dus 1 is de maat voor deze graaf.

Het probleem met de geavanceerdere maten is dat het ook langer duurt om ze uit te rekenen als de graaf erg groot is. Je kunt proberen om een maat te bedenken die je exact vertelt van ieder deel van de graaf hoe robuust het is, maar de kans is aanwezig dat het dan jaren duurt om hem te berekenen. Het zou dus fijn zijn als we ook al nuttige conclusies kunnen trekken uit de simpelere maten.

Daarnaast heb je nog een andere overweging: welke maat je gebruikt hangt ook af van de toepassing die je voor ogen hebt. Stel je een netwerk voor met twee eindpunten, A en B. Er zijn twee verbindingen, een korte en een (erg) lange. Als we het over een netwerk van gasleidingen hebben, is het niet heel erg als de korte verbinding uitvalt; er zit overal gas in de leiding, dus punt B wordt nog wel voorzien van gas. Als het

daarentegen om een wegennetwerk gaat, is het vervelend als mensen een omweg moeten maken van twee dagen. Het hangt dus ook van de toepassing af hoe robuust je dit netwerk zou vinden.

Niet alleen bij een universiteit

TNO is een bedrijf dat wetenschappelijk onderzoek verricht voor andere bedrijven die er zelf de expertise niet voor in huis hebben. Het onderzoek van Wendy is redelijk theoretisch, en gebeurt niet direct in opdracht van een klant. De verwachting is echter dat bijvoorbeeld aanbieders van telefoonnetwerken geïnteresseerd zijn in dit soort informatie: het helpt hen immers om te begrijpen welke delen van een netwerk het zwakst zijn.



Wendy doet haar afstudeeronderzoek bij de afdeling TNO Informatie- en Communicatietechnologie, die zich vanzelfsprekend bezighoudt met problemen die (vooral) over elektronica en computers gaan. Dat betekent niet dat er alleen informatici zitten: er zijn wiskundigen, elektrotechnici, natuurkundigen en zelfs gedragswetenschappers. Dat maakt de werkomgeving afwisselend en je collega's kijken soms heel anders tegen een probleem aan, wat jou aan nieuwe ideeën kan helpen.

In de keuze van projecten waar je aan meewerkt heb je als werknemer veel vrijheid. Om wat meer afwisseling te krijgen heeft Wendy vanuit TNO projecten bij andere bedrijven gedaan. •

Ben je op zoek naar een stageplek of wil je afstuderen bij een bedrijf? Of ben je gewoon op zoek naar een uitdagende en leuke baan? Kijk dan eens of werken bij TNO iets voor je is. Ga naar werkenbijTNO.nl voor meer informatie.

Veertig jaar Westerbork

DOOR RONNIY JOSEPH

De Nederlandse sterrenkunde passeert dit jaar een mijlpaal, namelijk de veertigste verjaardag van het grootste radiotelescoopgevaarte van Nederland. Gelegen naast het bekende kamp Westerbork staan veertien immense radioschotels die de hemel dag en nacht afspeuren naar nieuwe ontdekkingen binnen de radio-astronomie en de bijbehorende plaatjes. Daarom eert de *Periodiek* dit toonbeeld van Nederlandse sterrenkunde met een biografie.

De grondbeginselen van de radiotelescopie zijn ontstaan in het puin dat achtergelaten werd door de Tweede Wereldoorlog. Tijdens deze oorlog was de ontwikkeling van radartechnologie zoals wij die kennen voltooid. Toentertijd was het hoogste doel echter het opsporen van vijandige voertuigen in plaats van hemelse objecten die lichtjaren van ons verwijderd zijn. De meeste grote wetenschappelijke ontdekkingen gaan schuil onder het fenomeen dat serendipiteit heet; op zoek zijn naar iets en een totaal ander nuttig iets vinden. Hetzelfde geldt voor de toepassing van radartechnologie in Astronomie. Het was de Amerikaanse Karl Jansky die in de jaren dertig een eerste ontdekking deed met radio-antennes terwijl hij eigenlijk op zoek ging naar de vervelende ruis die veelal aanwezig was bij het gebruik van radio-telecommunicatie. Hij vond drie oorzaken van deze ruis. Op nummer één stonden nabije donderstormen, gevolgd door verre donderstormen en deze opsomming werd gesloten door een bron die elke 23 uur 56 minuten piekte.

Deze periode heet in de sterrenkunde ook wel een siderische dag; de tijd die de aarde nodig heeft om een omwenteling te maken ten opzichte van een verstaande ster. Doordat deze tijd lijft op de periode van een normale dag, dacht Jansky dat de zon wellicht de oorzaak was van deze piek. Maar het was Albert Skellet, een vriend en natuurlijk astrofysicus, die de betekenis van deze periode zag en daarmee wist te verklaren dat de bron van deze piek een vaste plaats tussen de sterren had. Na verder onderzoek kon Jansky concluderen dat de bron zich in het sterrenbeeld Sagittarius bevond, in de richting waar zich het midden van de Melkweg bevindt. Tegenwoordig weten we dat het centrum van de Melkweg onderdak biedt aan een

supermassief zwart gat dat de bron voor deze radiostraling vormt. Met deze eerste ontdekking van Jansky was de radiosterrenkunde geboren.

De pre-conceptuele fase

Ook in Nederland kwam direct na de Tweede Wereldoorlog een grote ontwikkeling in de radio-astronomie. Hier begon het voorloperschap van Nederland binnen deze tak van de Astronomie. De eerste Nederlandse stap werd gezet door de Friese Jan Hendrik Oort, naar wie de Oortwolk is vernoemd. Hij bevestigde de uitzending van de interstellaire 21-cm lijn.

Atomen zenden bij energieovergangen straling uit. Een van de belangrijkste overgangen voor sterrenkundigen is de spin-overgang van het elektron in een waterstofatoom, bij deze overgang wordt een foton uitgezonden op de golflengte van 21 centimeter, een microgolf die uitgezonden wordt door het alom aanwezige interstellaire waterstofgas. Deze geïsoleerde lijn van waterstofgas maakt het zeer goed mogelijk om snelheden van zulke gaswolken te meten via het Dopplereffect. Hierdoor is het mogelijk om de snelheden van spiraalarmen van sterrenstelsels in kaart te brengen. Terwijl het waterstof in de Melkweg in kaart werd gebracht met de Kootwijk-telescoop, zinde Oort echter op een groter en nog gevoeliger speeltje met een grotere resolutie.

Deze ambitie zou leiden tot de bouw van de Dwingeloo Telescoop, een project dat zo groot was dat de hulp van meerdere universiteiten nodig bleek en zo was de eerste inter-universitaire sterrenkundeorganisatie geboren: de NFRA, *Netherlands Foundation for Radio Astronomy*. De organisatie zou toezien op de bouw van

de telescoop. Het zou een 25-meter telescoop worden op een zogenaamde *alt-azimuth mount*. Het voordeel van een alt-az mount is de simpliciteit. Men neemt een draaivlak en plaatst er een vork op. In deze vork plaatst men een telescoop die daardoor op en neer kan en er is een alt-az mount geboren. Het probleem met het coördinatenstelsel van een alt-az telescoop is dat een ster tijdens het draaien van de hemel op beide assen van plaats verandert. Terwijl bij een equatoriaal systeem, waarbij de hemel parallel draait aan één as, een ster zich langs een as verplaatst.

Vanwege het gebrek aan computerkracht moest er een complex elektro-mechanisch systeem komen om deze coördinaten om te zetten en ervoor te zorgen dat de telescoop de ster zo goed mogelijk volgt. Mocht de telescoop zijn altitude of azimuth niet op tijd aanpas-

sen dan zou de ster verschuiven, het gevolg hiervan is uitsmering van de ster op de afbeelding.

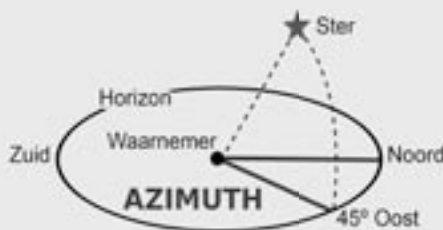
De volgende stap was de locatie: het staatsbos nabij Dwingeloo. In 1954 kon de bouw van de telescoop beginnen waarna hij in 1956 officieel werd geopend door Koningin Juliana. De Dwingeloo Telescoop maakte het mogelijk om onze eigen Melkweg en andere sterrenstelsels te observeren. Er wordt echter nooit genoeg genomen met een kijkje in de achtertuin. Er moet altijd verder gekeken worden dan wat mogelijk is. Als je geïnteresseerd was in the bigger picture van het heelal dan kwam een grotere telescoop wel van pas. Een grotere telescoop heeft een hogere resolutie, maar met de technieken van de Dwingeloo Telescoop betekende dat er een telescoop van enkele kilometers nodig was om de gewenste resolutie te verkrijgen.

Hemelse coördinatenstelsels

Binnen de sterrenkunde bestaan er verschillende bolcoördinatenstelsels, met deze coördinatenstelsels is het mogelijk om objecten aan de hemel een locatie te geven. Het probleem met het creëren van je coördinatenstelsel is het kiezen van je nulpunt. Voor het horizontale of het alt-azimuthsysteem is het nulpunt het punt op de aarde waarop jij je bevindt. Stel we nemen een cirkel met jouw locatie als centrum. Loodrecht op dat centrum staat het *zenith* (je plaatselijke noordpool). Op deze cirkel definiëren we ook nog eens noord, oost, zuid en west, waar we vanuit het noorden richting het oosten een hoek meten: het *azimuth*. Nu hebben we alleen nog één hoek nodig om te bepalen hoe hoog het object aan de hemel staat en daarom heet dit ook heel toepasselijk de *altitude*.

Er bestaat daarentegen ook een ander systeem: het equatoriaal systeem. Bij dit systeem is niet de aarde het nulpunt, maar het hemelse vlak zelf. Heb je ooit een keer acht uur lang naar de hemel gekeken en viel het toen op dat de hemel niet parallel draait ten opzichte van het aardoppervlak? Dit komt doordat de as

van de aarde niet loodrecht staat maar een hoek maakt ten opzichte van zijn baan. Daardoor draait de hemel ook met een hoek (zie figuur 1). Stel we bekijken deze draaiende hemel ook als een bol. Dan is de noordpool van deze bol het punt waar alles om heen draait, ofwel de poolster. De evenaar of equator wordt dan de grootste cirkel die we op deze bol kunnen tekenen en deze noemen we de *celestial equator*. Wat je nu hebt, zijn twee verschillende coördinaatsystemen, een vanuit de aarde en de ander vanuit de hemel. Deze communiceren met elkaar via de sinus- en cosinusregel en een paar hoeken genaamd epsilon en delta.



FIGUUR 1 Alt-azimuthsysteem

De embryonale fase

Terwijl de Dwingelo Telescoop (zie figuur hieronder) zijn ogen net open deed, werden overal ter wereld nieuwe ontwikkelingen gemaakt om de resolutie van radiotelescopen op te krikken. Een van deze ontwikkelingen was de techniek van interferometrie: het gebruiken van meerdere telescopen en deze signalen combineren tot een afbeelding met een nog hogere resolutie dan van deze telescopen apart. Nu zagen de Nederlandse sterrenkundigen hier genoeg grote toepassingen in, maar deze waren dusdanig groot dat Nederland hulp nodig zou hebben van zijn zuidelijke buren: de Belgen. Na vele tergende jaren wachten, vooral voor Oort die op zijn pensioen begon af te stevenen, haakten de Belgen uiteindelijk af. Hierdoor was er geen sprake meer van ingewikkelde politieke kwesties,

waardoor al snel met de bouw van de reeds ontworpen telescoop aan de gang kon worden gegaan, echter wel met een kleiner budget.

Het ontwerp was een array van tien vaste schotels en één op rails beweegbare schotel, elk met een diameter van 25 meter. Deze zouden nu geplaatst worden op een equatoriaal mount waardoor het volgen van de hemel wat makkelijker zou zijn. Hierdoor verschuift de hemel minder ten opzichte van de telescoop, een vereiste voor een hoge resolutie. De equatoriaal mounts zijn daarentegen complexer en daarmee duurder. Om de kosten te drukken werd er min of meer een veiling gehouden over welk bedrijf de bouw van welk onderdeel op zich mocht nemen. Uiteindelijk zouden de kosten hierdoor zo laag worden waardoor het budget nog een extra beweegbare schotel toeliet, dus een totaal van twaalf schotels.

De bouw begon in 1965. Terwijl de locatie werd uitgemeten en de telescoopposities uitgetekend werden, was de eerste schotel al klaar in 1967, de laatste zag het dag- en nachtlicht in 1968. Omdat de computerkracht toen nog steeds niet zo groot was, werd elke radioantenne op dezelfde wijze in elkaar gezet om latere fouten tot een minimum te brengen. Elke coax-kabel van antenne tot computer zou even lang zijn, waardoor faseverschillen in de signalen tot een minimum gebracht zouden worden. Voor de beweegbare schotels zouden er stukken kabels bloot moeten liggen omdat de kabels mee moeten bewegen met de schotels. Dus om zo weinig mogelijk verschil te krijgen door warmteverschillen, veroorzaakt door het weer, werden bij alle schotels stukken kabel met gelijke lengte blootgelegd.

De Geboorte

Het mechanische gedeelte van de Westerbork telescoop was rond 1968 voltooid, maar de overige onderdelen, de elektronica en de computersystemen, hadden op zijn zachtst gezegd nog last van kinderziektes. Het afstellen van de apparatuur duurde langer dan gehoopt en zodoende konden echte observaties pas



gedaan en opgeslagen worden in het jaar 1970, maar ook toen zat het nog niet mee. In elke observatie die gedaan werd zat namelijk eenzelfde bron van storing. Dat zou dus betekenen dat er een fout in het systeem zat of dat de telescoop op het punt stond om een miraculeuze ontdekking te doen. Helaas was het laatste niet het geval, de storing was namelijk op een bepaalde golflengte en continu van aard. Na extra observaties bleek de bron een nabije gelegen legerbasis te zijn die binnen het observatiespectrum van de telescoop uitzond. Maar gelukkig was de militaire leiding na een vriendelijk verzoek bereid om op andere frequenties uit te gaan zenden.

Toen het jaar 1970 eindelijk was aangebroken kon de Westerbork Synthesis Radio Telescope (WSRT) doen waarvoor hij op de wereld was gezet: observeren en de hemel afspeuren naar immense hoeveelheden data zodat de sterrenkundigen in de jaren hierop veel werk te verrichten hadden. Maar om alle data van de telescoop te combineren tot een afbeelding was een “supercomputer” nodig. Deze zou twaalf lange uren draaien om welgeteld een halve megabyte om te zetten tot een verwerkbaar plaatje. Zoals je misschien al merkte waren het de jaren ‘70. Deze data moest dus op een schijf worden gezet en analoog worden afgeleverd door de postbode bij de IBM 360 computer van de Universiteit Leiden.

Plastische chirurgie

De WSRT was in 1970 weliswaar volgens het ontwerp klaar, maar om te blijven concurreren met de jongere telescopen moest deze natuurlijk wel zo nu en dan een rigoreuze upgrade ondergaan. Verbeterde signaalverwerkers werden toegevoegd zodat de telescoop nog beter signalen kon ontvangen. Deze signaalontvangers zijn in de loop der jaren nog regelmatig verbeterd. De grootste verandering aan de telescoop gebeurde echter in de jaren ‘75 tot ‘80 toen er twee beweegbare schotels aan de array werden toegevoegd. Hierdoor moesten de rails waarover deze schotels zich bewegen uitgebreid worden, waardoor de totale lengte van de array op 2,5 kilometer komt.

In de jaren 90 kreeg de WSRT nogmaals een grote beurt waarbij elektronica vervangen werd en de software een flinke update kreeg. Door deze verbeteringen is de telescoop nog steeds een van de beste instrumenten op aarde. Er is echter geen sprake van concurrentie met andere telescopen. Sterker nog, er is sprake van samenwerking met andere telescopen. Zoals het mogelijk is om signalen van meerdere schotels te combineren, is het ook mogelijk om signalen van meerdere arrays te combineren. Dit wordt ook wel Very Long Baseline Interferometry (VLBI) genoemd. Hierdoor krijg je een effectieve resolutie van een telescoop die even groot is als de afstand tussen de uiterste arrays. Zo werkt de WSRT regelmatig samen met o.a. de 300 meter schotel in Puerto Rico en de 25 meter telescoop in Onsala, Zweden. Dit wordt allemaal gedaan onder de hoede van JIVE, Joint Institute for VLBI in Europe.

Maar het verbeteren van de WSRT is nog lang niet voorbij. Onlangs heeft de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO) een beurs uitgereikt aan ASTRON en het Kapteyn instituut. Deze beurs zal gebruikt worden voor het vervangen van de antennes op de radioschotels. Momenteel bevindt zich er een enkele antenne per brandpunt, deze worden vervangen door een bundel van antennes. Hierdoor wordt het zichtveld van de WSRT vergroot met een factor dertig. De techniek komt uit dezelfde basis als die van LOFAR (lees hiervoor *Periodiek* 2010-1). Het lijkt er dus op dat de Westerbork telescoop nog een tijd zal meedraaien in de internationale sterrenkundige gemeenschap en ver uit de buurt blijft van de status Rijksmonument. •

Referenties

- [1] <http://www.astron.nl/>
- [2] <http://star-www.st-and.ac.uk/~fv/webnotes/>
- [3] <http://www.evlbi.rog/>
- [4] <http://www.rug.nl/sterrenkunde/nieuws/apertif-nwo-groot/>

De raadsels van de sudoku

DOOR MARION DAM

Sudoku's: natuurlijk ken je ze. De puzzel van 9 bij 9 vakjes, waarbij in iedere rij, in iedere kolom en in ieder vierkant van 3 bij 3 de cijfers 1 tot en met 9 ingevuld moeten worden. Een sudoku is pas een goede als er maar één oplossing mogelijk is, die door logisch redeneren (dus niet door gokken) gevonden kan worden. Een oplossing is vaak binnen afzienbare tijd te vinden. Toch houden deze puzzels de wiskundigen bezig: ze geven hun geheimen niet makkelijk prijs. Hoeveel verschillende bestaan er bijvoorbeeld? Of hoeveel begincijfers moeten gegeven worden?

Laten we eerst een onderscheid maken tussen een *sudokuveld* en een *sudokupuzzel*. Dit eerste is een volledig ingevuld veld, het tweede is een paar begincijfers van het sudokuveld. Bovendien wordt met een *vierkant* een vlak van 3×3 bedoeld, en wel een vlak zoals ze ook dik omlijnd in de puzzels staan. Een *balk* bestaat uit drie opeenvolgende vierkanten, horizontaal of verticaal.

Hoeveel verschillende?

Aan sudokuvelden is geen gebrek. Om precies te zijn: er zijn $6,7 \times 10^{21}$ verschillende velden. Nu is het natuurlijk zo dat als je één sudokuveld hebt, je daar eenvoudig een andere van kan maken door rolverwisseling. Vervang bijvoorbeeld elke 1 door een 2, 2 door 3, enzovoort. Zo zijn er $9! = 362880$ combinaties, die nagenoeg hetzelfde zijn. Laten we alle sudoku's die door verwisseling tot stand komen, als één en dezelfde beschouwen.

Er blijft nu nog een aantal van $1,84 \times 10^{16}$ velden over. Dit zijn er nog steeds heel veel, maar we kunnen het wel verder reduceren door te zeggen dat elke sudoku die een kwartslag gedraaid wordt, hetzelfde is. Nu mogen we dat grote getal dus door vier delen. Omdat sommige sudoku's echter rotatiesymmetrisch zijn, moet dat getal een klein beetje worden gecorrigeerd, maar dat is verwaarloosbaar.

Je kunt sudoku's spiegelen, kolommen of rijen binnen balken of de balken zelf verwisselen zonder dat er iets niet meer zal kloppen. Puzzelmakers maken hier dank-

baar gebruik van: als er één sudoku bekend is, verdraai je wat rijen, draai je hem een kwartslag en verwissel je getallen. Et voilà, niemand die hem meer herkent. Terwijl hij toch niet wezenlijk anders is. De puzzelaar heeft geen enkele nieuwe oplosstrategie nodig.

Mochten alle sudoku's na deze bewerkingen als dezelfde worden beschouwd, dus bij de meest strenge selectie, dan blijven er toch nog 5.472.730.538 verschillende sudokuvelden over.

Hoe men aan dit grote getal komt? Er is tot nu toe nog nooit een formule gevonden voor $n^2 \times n^2$ sudokuvelden, dus moest het anders gevonden worden. Gelukkig waren er twee mannen genaamd Felgenhauer en Jarvis, die met redeneren, tellen en hun computer op het getal kwamen.

Hoeveel begincijfers?

De vraag hoeveel begincijfers er minimaal gegeven moeten zijn voor een unieke oplossing, is niet eenvoudig. Het is in ieder geval geen kwestie van: hoe meer, hoe beter. Een puzzel met twintig begincijfers kan een unieke oplossing hebben, terwijl een puzzel met 77 begincijfers nog twee mogelijkheden kan toelaten. In ieder geval moeten er meer dan zeven cijfers gegeven worden. Immers, bij zeven cijfers zijn er twee cijfers niet gegeven en mag de puzzelaar zelf kiezen hoe hij deze invult. Maar heb je aan acht begincijfers genoeg? Tot nu toe is het kleinste aantal begincijfers voor een puzzel zeventien. Of dit ook daadwerkelijk de ondergrens is, is nog een open vraag.

Oplossen

De meest simpele technieken zal een puzzelaar zelf al eens hebben uitgevogeld. Een voorbeeld is de unieke, missende kandidaat: als er in een rij, kolom of veld nog één cijfer mist, is het duidelijk welke dit is. Verder zijn er de ‘naked singles:’ als je in elk leeg hokje alle cijfers van 1 t/m 9 invult en je streept alle cijfers weg die in dezelfde rij, kolom of vierkant zitten, kan het zijn dat er in een hokje slechts één kandidaat overblijft. Deze kan dus ingevuld worden. Er zijn ook nog de ‘hidden singles.’ Op dezelfde manier als bij de naked singles zet je in elk hokje weer alle kandidaten. Als één cijfer maar in één hokje van een rij, kolom of vierkant voorkomt, ook al is hij vergezeld door andere kandidaten, moet deze hier wel ingevuld worden. Op dezelfde manier bestaan er ook naked en hidden pairs. Deze kun je niet meteen invullen, maar als je weet dat twee cijfers slechts over twee hokjes verdeeld kunnen worden, kun je deze als kandidaten wegstrepen uit andere hokjes.

Zo zijn er meer gemakkelijke strategieën. Echter hebben bollebozen zich ook over sudoku’s gebogen en kwamen met verscheidene stellingen. Een interessant voorbeeld hiervan is Tuleja’s stelling (ook wel Mr. T’s stelling genoemd), die niet altijd meteen leidt tot een ingevuld hokje, maar wel nuttige informatie geeft. De stelling geldt voor een willekeurige balk en zegt dat er zich maar twee situaties voor kunnen doen:

Tuleja’s stelling:

- 1) *Als drie nummers binnen een vierkant in dezelfde rij voorkomen, en gebeurt dat in alle drie de vierkanten van een balk, dan zullen alle andere sets van drie nummers in een rij van een vierkant ook zo voorkomen in de andere vierkanten.*
- 2) *Als 1) niet opgaat, zijn er altijd drie sets van twee cijfers die tezamen in elke rij van een vierkant voorkomen.*

Een gemakkelijk bewijs voor deze stelling is te vinden in [2]. De stelling geldt voor kolommen, je kunt immers de sudoku in zijn diagonaal spiegelen. In de bovenste balk van figuur 1 zien we een voorbeeld van geval 1). De combinatie 123 komt in elk vierkant in een aparte rij voor, idem voor 645 en 987. Dat dit altijd het geval is, klinkt nog best aannemelijk, maar Tuleja’s stelling zegt dat er zich maar één andere situatie voor kan doen, en dat is 2).

Zie hiervoor figuur 1, in de tweede horizontale balk, de sets 85, 41 en 73. Deze komen in elk vierkant van deze balk in dezelfde rij voor. De nummers die niet bij een set horen, worden drijvers genoemd. In de tweede horizontale balk zijn de drijvers dus 9, 6 en 2. In de drie verticale balken in figuur 2 gaat geval 2) ook steeds op. Probeer de sets van twee cijfers maar eens te vinden.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	1	2	3	4	5	6	7	8	9
b	6	4	5	7	9	8	3	2	1
c	9	8	7	3	1	2	5	4	6
d	8	5	9	6	7	3	4	1	2
e	4	1	6	2	8	5	9	3	7
f	7	3	2	9	4	1	8	6	5
g	5	6	4	8	2	9	1	7	3
h	3	7	1	5	6	4	2	9	8
i	2	9	8	1	3	7	6	5	4

FIGUUR 1 Een ingevuld sudokuveld. In de bovenste balk staat een voorbeeld van geval 1), in de tweede en derde een voorbeeld van 2).

Toepassingen

Heel mooi en aardig natuurlijk, zo'n stelling met een moeilijke naam, maar wat heb je er nou concreet aan? Zoals al gezegd, leidt het er niet altijd meteen toe dat je met deze stelling een nieuw cijfer in kan vullen, maar het kan in veel gevallen wel helpen. Figuur 2 is een voorbeeld dat ook op een andere manier kan worden opgelost, maar we gebruiken Tuleja's stelling. We bekijken nu de tweede verticale balk in figuur 2. Hier is 73 duidelijk een set, en 6 duidelijk een drijver. Aangezien er sprake is van sets, hebben we te maken met geval 2). Hierdoor weten we dat 14 ook een set is. Omdat er al een 4 staat in de h-rij, moet er in de cirkel wel een 4 staan.

Een ingewikkelder voorbeeld zien we in figuur 3. Dit is duidelijk een geval van sets, en niet van trio's, omdat 3 een keer met 49 en met 6 in een rij voorkomt. Omdat er in de negende kolom al een 2 staat, staat er ook een 2 op de plek van een van de x-en. Als daar een 2 staat, moet er op de plek van een y in het eerste vierkant ook een twee staan. We zien dat 12 nu twee keer voorkomt en dus een set moet zijn. Dat maakt 7

een drijver, waardoor we weten dat 3 dat niet is en 34 of 39 een set vormt. Omdat 36 voorkomt in de bovenste rij, is 6 ook een drijver en weten we dat 85 een set vormt. 5 komt al in de derde kolom voor, dus is het getal in de cirkel een 5. Merk tevens het volgende op: omdat 3 en 4 in het tweede vierkant niet in dezelfde rij staan, de juiste set 39 is, en moeten a5 en b9 dus een 9 zijn.

Tuleja's stelling is slechts een van de vele oplosmethoden voor sudoku's. Sinds de rage is begonnen, zijn er vele boeken, internetsites en topics over gemaakt waar mensen strategieën uitwisselen. Hoewel Tuleja's stelling nuttig is, is hij lastig om toe te passen, vooral in het begin. Toch is het leuk om zelf eens te zien hoe de stelling je tot nieuwe inzichten kan brengen.

Mocht je plotseling de sudokukriebels voelen opkomen, begin dan snel aan het Breinwerk op pagina 37 en kijk of jij de moeilijkste sudoku ooit kunt oplossen! •

Referenties:

[1] www.kennislink.nl/publicaties/sudokus-ontcijferd

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	8			3		6			
b	1					4	7	3	
c		3	9	7	2	1	8	5	
d		8			7		9		
e	7				6		5	8	3
f			5		3			6	7
g	5	4	8	6	1	7	3	9	2
h	3	6	1	2			4	7	5
i						3	6	1	8

FIGUUR 2 Er hoort een 4 in de cirkel.

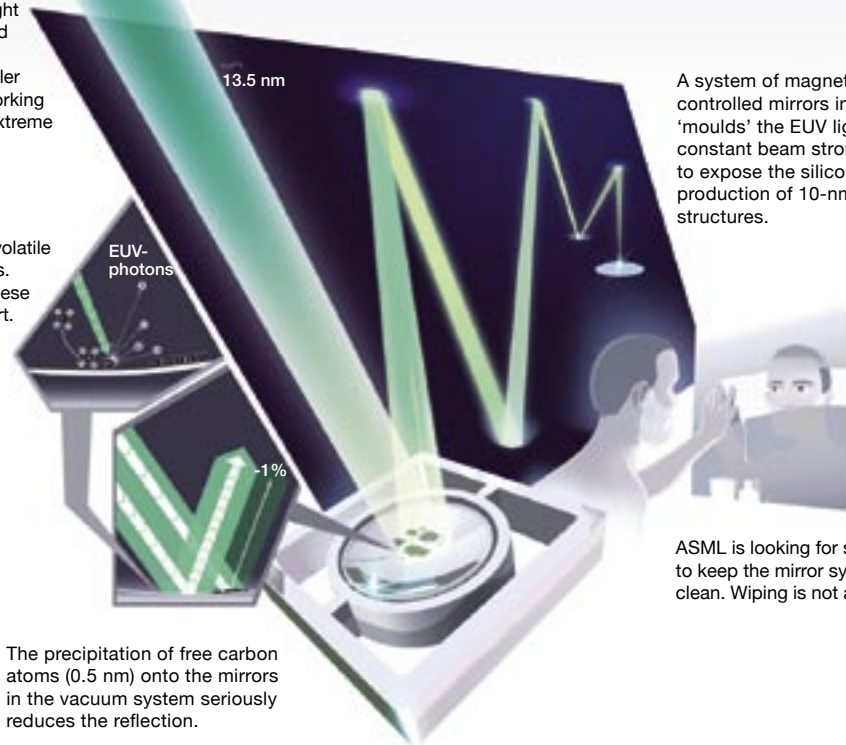
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
a	8			3		6	x	x	
b	1	y	y			4	7	3	
c	4	3	9	7	2	1	8	5	6
d		8			7	5	9		
e	7				6	2	5	8	3
f			5		3			6	7
g	5	4	8	6	1	7	3	9	2
h	3	6	1	2			4	7	5
i				5	4	3	6	1	8

FIGUUR 3 Een 5 komt in de cirkel.

Tomorrow, we'll be able to make 10-nm-chips. Today, you can figure out how.

Up to now, Deep UV light (193 nm) has been used for chip production. In order to enable smaller chips, ASML is now working on the application of Extreme UV light (13.5 nm).

The vacuum contains volatile hydrocarbon molecules. EUV photons smash these organic molecules apart.



A system of magnetically controlled mirrors in a vacuum 'moulds' the EUV light into a constant beam strong enough to expose the silicon for the production of 10-nm-chip-structures.

ASML is looking for solutions to keep the mirror system clean. Wiping is not an option.

The precipitation of free carbon atoms (0.5 nm) onto the mirrors in the vacuum system seriously reduces the reflection.

For engineers who think ahead

Profile: Worldwide market leader in chip lithography systems | Market share: 65% | R&D-budget: EUR 500 million | Opportunities for: Physicists, Chemists, Software Engineers, Electrotechnicians, Mechatronics and mechanical engineers | Discover: ASML.com/careers



ASML

Newton: appels en muntmeesters

DOOR ARJAN BOERMA

Sir Isaac Newton wordt over het algemeen beschouwd als een van de grootste, zo niet überhaupt de grootste natuurwetenschapper aller tijden – volgens de Amerikaanse astrofysicus Hart [1] zelfs de op één na invloedrijkste persoon ooit, invloedrijker dan Confucius en *bigger than Jesus*. Hoe valide en hoe waardevol dit soort rangschikkingen zijn, daar verschillen de meningen over, maar je kan niet ontkennen dat Sir Isaac tussen een aantal legendarische namen staat. Terecht, zo moge blijken.

Op Eerste Kerstdag 1642 (4 januari 1643 volgens de huidige kalender) wordt in Woolsthorpe-by-Colsterworth, Engeland, Isaac Newton geboren. Zijn vader (ook Isaac) overlijdt een paar maanden voor zijn zoon geboren wordt. Hij was een rijke boer en zijn moeder hoopt dat Isaac jr. ook de landbouw in zou gaan.

Gelukkig voor de wetenschap ziet Newton dat absoluut niet zitten en vertrekt hij op achttienjarige leeftijd naar Trinity College, Cambridge. Hier krijgt hij in 1664 een studiebeurs voor vier jaar – tot dan toe voorziet Newton zich in zijn levensonderhoud door in de kantine te werken – maar in verband met de pest die het jaar daarop Engeland bereikt, sluit de universiteit haar deuren. Newton keert terug naar Woolsthorpe-by-Colsterworth, waar hij een paar jaar in zijn eentje aan verschillende natuurkundige en wiskundige problemen werkt. In deze periode realiseert hij zich ook dat zwaartekracht een fundamentele kracht is, de basis voor zijn latere faam als fysicus.

Als Newton weer op Cambridge komt, wijdt hij zich in eerste instantie aan de alchemie. Naar aanleiding van een boek over reeksen van Nicolas Mercator, waarin overigens de term ‘natuurlijk logaritme’ voor

het eerst gebruikt wordt, besluit hij ook iets van zijn wiskundige werk uit te brengen – een manuscript over oneindige reeksen dat zo goed wordt ontvangen dat de *Lucasian Professor for Mathematics* het niet meer dan schappelijk vindt zijn leerstoel aan Newton af te staan.



Je moet er trouwens niet van opkijken dat Newton ‘toevallig’ nog een baanbrekend manuscript had liggen. Hij had een broertje dood aan publiceren, dus het leeuwendeel van zijn werk verdween in een la totdat iemand anders over hetzelfde onderwerp schreef.

Het verhaal gaat bijvoorbeeld dat Edmond Halley (van de komeet) en Robert Hooke ergens in 1684 een discussie hebben over de ellipsvormige planeetbanen die Kepler in 1609 beschreef. Hooke claimt dat hij kan bewijzen dat deze banen het gevolg zijn van de zwaartekracht van de zon, maar dat hij dat om een bepaalde reden nog even voor zich houdt. Halley worstelt zelf een tijdje met de berekeningen, maar komt er niet uit en legt ze voor aan Newton. Zijn reactie? “Dat heb ik een paar jaar geleden voor de grap al eens uitgerekend.” Op dat moment kan Newton de papieren echter niet terugvinden, dus gaat hij er eens goed voor zitten, schrijft in drie maanden een grondig

bewijs voor Halley en besluit het voor de goede orde maar meteen volledig uit te werken tot een universeel geldende 'natuurfilosofie op wiskundige principes'.

Het resultaat van deze exercitie, belichaamd in Newton's magnum opus *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* (1687), is de tak van de wetenschap waar Newton bij het grote publiek echt bekend om is: de 'klassieke' mechanica. Maar omdat ene heer Einstein uit Ulm en enkele anderen een paar kleine correcties daaraan nodig achtten en omdat het gros van de eerstejaarsstudenten überhaupt geen waardering voor zijn curriculum kan opbrengen, zal niet iedereen de elegantie en de kracht van deze theorie op waarde kunnen schatten: uit drie wetten (Newton's Eerste, Tweede en Derde wet, die ik als bekend veronderstel) en het principe van behoud van impuls(moment) valt ongeveer tweehonderd jaar aan natuurkunde af te leiden.

Het is bijzonder aan te raden daar op een vrije avond eens mee bezig te gaan en je vooral te realiseren dat Newton op het principe van de universele zwaartekracht kwam door iets doodeenvoudigs, zoals een vallende appel te analyseren. Als bèta zijn wij gebaat bij een open blik en een scherpe geest, dat lijkt me een goede moraal voor onderweg.

Hoe het ook zij, met de *Principia* wordt Newton in binnen- en buitenland bekend. Hij bekleedt echter nog steeds een betrekkelijk anonieme academische functie, wat niet goed zit bij een aantal invloedrijke vrienden van Newton. Zij zorgen ervoor dat hij in 1696 wordt benoemd tot muntmeester – in theorie een goedbetaalde luizenbaan, die een man als Newton niet van zijn wetenschappelijke werk af zou hoeven houden. Newton neemt zijn nieuwe functie daarentegen uiterst serieus: hij geeft uiteindelijk zelfs zijn leerstoel in Cambridge op.

Dat weerhoudt hem er gelukkig niet van in 1704 zijn 'andere grote werk' *Opticks* (over optica) uit te brengen. Ook blijkt Newton, als hij geen valsemunten vervolgt, genoeg tijd te hebben voor een stevige, publiekelijk uitgevochten ruzie met Robert Hooke over



wie als eerste het verband legde tussen zwaartekracht en de elliptische banen van planeten. Hij publiceert ook rond die tijd een volledige versie van zijn versie van differentiaal- en integraalrekening, 'fluxions', waar hij in zijn eerste tien jaar op Cambridge mee bezig was geweest – en blijkt ook nog tijd te hebben voor een stevige, publiekelijk uitgevochten ruzie met Gottfried Leibniz over wie dáár eerder mee was, een ruzie met als twijfelachtig hoogtepunt dat een comité van de Royal Society onder leiding van Newton Leibniz van plagiaat beschuldigt.

In 1705 wordt Newton als eerste wetenschapper in de geschiedenis geridderd. Hij kiest als wapen twee gekruiste botten op een zwart veld. Sinds Newtons dood in 1727 worden vlaggen met daarop een variatie op dit wapen overal ter wereld gebruikt als symbool van de wetenschappelijke methode – want dat is immers veel stoerder dan piraterij. •

Referenties

- [1] Hart, M. H., *The 100: A Ranking of the Most Influential Persons in History*

Het bezigen van muziek

DOOR CEES DRAAIJER

De radio heeft hij voor reclame en een piano ziet hij als grote deurbel. De amuzikale verwondert zich erover dat mensen zich door muziek laten bewegen om energie te verspillen, tranen vooral komen bij de begrafenismuziek en dat een voetbalstadion schor naar huis gaat. Uitzonderingen daargelaten, is de mens behalve geletterd vooral een muzikaal wezen.

Een tekst over muziek, die lijkt per definitie ontoerijkend. Waarom zou er namelijk muziek zijn als zij zich simpel door woorden laat vervangen? Muziek is een toevoeging aan onze communicatie, die in eerste instantie slechts verbaal lijkt te verlopen. Simpel gebruik van intonatie tijdens het spreken vestigt al aandacht die alternatief slechts na toevoegen van vele woorden wordt bereikt. Hierdoor is een telefoontje niet zonder meer te vervangen door een SMS.

De toename van communicatie per tijdseenheid is niet de enige toegevoegde waarde die aan muziek kan worden toegedicht, zo blijkt ook uit de verhalen van de beroemde neuroloog Oliver Sacks in zijn boek *Musicophilia*. Door een hartaanval verloor een man zijn spraakvermogen, zonder verder aan intelligentie in te leveren: een uiterst deprimerend bestaan. Toen bleek dat hij nog mee kon zingen met muziek uit zijn jeugd, kreeg hij controle over steeds meer woorden, leidend tot gedeeltelijk herstel.

Hoewel het onderzoek hiernaar nog jong is, kunnen verklaringen voor de ervaring van muziek worden gevonden in de neurologie. Hierbij wordt gekeken naar de hersenactiviteit en hersenontwikkeling ten gevolge van muzikale impulsen. Er blijkt in de hersenen geen gespecialiseerd gebied te zijn voor het verwerken van muziek. Deze taak wordt over vele gebieden van het brein verspreid, waarbij een behoorlijke overlap bestaat met de verwerking van taal. Hiervoor worden hersengebieden voor semantiek en die voor verschillende cognitieve vaardigheden gebruikt.

Gehoor is neurologisch gezien hiërarchisch georganiseerd, van het oor tot de auditieve cortex. In de laatste zijn de door het oor opgevangen frequenties volledig

verwerkt. Hiermee is de perceptie van muziek echter nog niet voltooid. De verschillende componenten van muziek, zoals melodie, akkoorden, toonhoogte en ritme, moeten uit het verwerkte geluid worden geabstraheerd. Hoe dit gebeurt, kan worden geïllustreerd met de verwerking van verschillende types akkoorden. Dissonante akkoorden (met bijvoorbeeld de frequentieverhouding 8:9) activeren dezelfde hersengebieden als chocolade, cocaïne en seks. Consonante akkoorden (2:3) kunnen dienen ter opwekking van succesgevoelens, populair bij jonge kinderen.

Een belangrijke ontdekking is gedaan door het toepassen van milde stroomschokken op cavia's. Door deze vooraf te laten gaan aan een bepaalde toon, leerden de cavia's het belang van dit geluid kennen. Dit zorgde voor meer specifieke hersencellen, leidend tot meer hersenactiviteit bij het horen van de aangeleerde toon. Een onderzoek onder trompetisten liet dezelfde resultaten zien. Bij het horen van een trompet werd meer hersenactiviteit waargenomen dan bij het horen van een viool. De hersenen lijken door training af te stemmen op specifiek geluid.

De waardering van muziek is een populair onderwerp van gesprek. Vaak wordt geclaimd dat bepaalde muziek "verschrikkelijk" dan wel "geweldig" is. Als een groep cavia's delen we zo stroomschokken aan elkaar uit en vormen we onze muzikale smaak. In subgroepen waar consensus is gevormd, lopen de emoties hoog op wanneer de hersenactiviteit toeneemt bij het horen van "Walking on sunshine", "Marche funèbre" of "You never walk alone". •



Complottheorieën...

...maar wat als ze waar zijn?

DOOR MARION DAM

“Vanochtend stapte ik uit bed en ritste de deur van mijn tent open die mij beschermt tegen chemtrails, de giftige stoffen in vliegtuigsporen. Ik pakte de krant en zag op de voorpagina meteen al een artikel over Amerika. Bah, Amerika. Wat daar wel niet allemaal gebeurt... Dat ze in 1969 het maanlandschap nabouwden om net te doen alsof ze op de maan waren geweest, vond ik al erg, maar dat de eigen regering vliegtuigen in het WTC liet vliegen, was voor mij echt de druppel. En altijd maar de schuld in andermans schoenen schuiven. Bah. Daar heb ik nou echt een hekel aan.”

Hierboven een kleine greep uit de vele complottheorieën waar mensen in geloven. Complottheorieën gaan ervan uit dat groepen samenzweren om in het geheim kwalijke doelen te realiseren. Koste wat het kost willen ze meer geld of macht, niets ontzien ze op hun weg om dit te bereiken. Als voor mensen de werkelijkheid te moeilijk is te accepteren, wordt er een zondebok gezocht, iemand met een goed motief die de gruwelijke gebeurtenis op zijn geweten heeft, en voilà, het complot is geboren. Het ongeluk van prinses Diana is hier een goed voorbeeld van: iemand zo belangrijk als zij kon niet om het leven zijn gekomen door een ongeluk, dat leek uitgesloten. Er moest meer achter zitten.



Iemand kan ook verdacht worden gevonden als hij op het verkeerde moment, op de verkeerde plaats, een vreemde actie uit haalt. Wist je dat er, vlak voor J.F. Kennedy doodgeschoten werd, er een man langsliep met een geopende paraplu boven zich, terwijl het zonnig was? Op de beelden is hij duidelijk te zien. Vind je dat nou niet vreemd? Het onderzoeksteam vermeldde deze man niet in het rapport, omdat hij onbelangrijk leek te zijn, maar buitenstaanders merkten hem op. Later bleek – niet erg verrassend – dat hij wel degelijk een rol had in de moord op Kennedy. Van onder de paraplu had deze man heimelijk verdovingspijltjes geschoten, waardoor Kennedy makkelijker te raken is geweest.

Seneca verwoordde het mooi: *‘Cui prodest scelus, is fecit’* (wie baat heeft bij een misdaad, heeft het gedaan). De dood van Diana, iemand die wel wat schandaaltjes op haar naam had staan, beschermde de status van het Britse koningshuis. De regering moest het dus wel opgezet hebben om het land voor imagoschade te behoeden. Met genoeg fantasie en alternatieve interpretatie van de feiten was de manier waarop de regering dit had gedaan, zo gevonden.

Tenminste, zo luidt de complottheorie. De man is uiteindelijk opgespoord en verklaarde: hij was een zakenman die vlakbij werkte. In zijn middagpauzes ging hij altijd een eind wandelen. Hij had het niet zo op Kennedy en nam de paraplu mee als teken van protest. Het verwees naar de tijd dat J.F. Kennedy's vader ambassadeur was in Londen. Deze man steunde de vredespolitiek van de toenmalige premier die Hitler te vriend wilde houden. Deze premier kenmerkte

zich doordat hij altijd een paraplu bij zich droeg. Het symbolisme hiervan sloeg over op de Kennedy's. Daar wilde de zakenman naar verwijzen. Geheel onschuldig, dus.

Oostindisch doof

Complotdenkers betrekken alles en iedereen om hun theorie aannemelijk te maken. Ze laten met het grootste gemak gezworen vijanden, zoals de Amerikaanse overheid en terroristen heimelijk samenzweren in het complot. Vooroordelen over bevolkingsgroepen zorgen er ook voor dat bijvoorbeeld joden, vrijmetselaars of illuminaten te pas en te onpas in complotten op kunnen duiken. Bestaande (overheids)organisaties zijn vaak betrokken, en des te vaker naarmate er minder over hun activiteiten bekend is en er meer machtige personen bij betrokken zijn.

Complotdenkers gebruiken alleen de informatie die in hun verhaal past. Toevalligheden, sociale oorzaken, uiteenlopende belangen en onvoorspelbare gevolgen nemen ze niet mee. Enkele filosofen menen dat complotdenkers last hebben van de fundamentele attributiefout: gedragingen van mensen worden geweten aan hun karakter. Factoren die buiten de persoon liggen worden onderschat, terwijl factoren die binnen de persoon liggen zwaar worden overschat.

Geef ze eens ongelijk

Soms kun je het mensen ook niet kwalijk nemen dat ze in een complottheorie geloven. Als iets één keer is gebeurd, waarom dan geen tweede keer? Uit een onderzoek uit 2005 onder 500 willekeurig gekozen Afro-Amerikanen bleek dat 15% geloofde dat aids speciaal gecreëerd is om de zwarte bevolking uit te roeien. 44% meende dat patiënten die aidsmedicijnen slikken zonder het te weten proefkonijnen zijn van de overheid. Meer dan de helft dacht dat er wel een effectief middel bestond, maar dat dat voor de armen achter werd gehouden.

Het lijkt krankzinnig dat zo iets werkelijk zou gebeuren, maar veel Afro-Amerikanen zijn op de hoogte van het Tuskegee Syphilis Study-schandaal. Vanaf 1932 volgden Amerikaanse artsen voor deze syfilisstudie 400 arme Afro-Amerikanen met deze ziekte om het natuurlijke verloop ervan te bestuderen. Deze mensen werd verteld dat ze gratis behandeld zouden worden voor zogenaamd slecht bloed wat ze zouden hebben, maar ondertussen deden de artsen er alles aan om genezing te voorkomen. De zieken kregen placebo's toegediend. De artsen wilden hun jarenlange onderzoek maar al te graag voltooiën, en het zou pas voltooid zijn als op alle deelnemers autopsie was verricht.

Pas in 1966 kwam iemand achter deze praktijken. Deze persoon lichtte het Center for Disease Control in, maar hier werd besloten dat het onderzoek moest worden voortgezet. In 1972, toen het schandaal in de media kwam, waren er nog maar 74 patiënten over, die nu pas echte medicijnen kregen, samen met \$37.500 smartengeld.

Zulke zieke praktijken zijn dus waargebeurd. Als verschillende instanties toen hiertoe in staat waren, waarom zouden ze dan nu wel werkende aidsmedicijnen aan de armen geven? Voor arme bevolkingsgroepen kun je je dus misschien wel inbeelden dat ze in zulke complotten geloven.

Nut van een complottheorie

Mensen die fanatiek in complottheorieën geloven, hebben een slechter wereldbeeld, blijkt uit een onderzoek van Ted Goertzel, Amerikaanse professor in de sociologie. Ze hebben veel minder vertrouwen in hun toekomst, de overheid en de medemensen dan mensen die er niet in geloven. Je zou dus denken dat mensen ongelukkiger worden van complotten, maar er staat tegenover dat complotdenkers eigenwaarde krijgen door hun 'belangrijke rol' in het ontmaskeren van de complotten. Ze zien zich als klokkenluiders en halen daar voldoening uit.

Hoewel er niet veel onderzoek naar wordt verricht, bestaan er theorieën over het nut en de reden van hun bestaan. Er wordt wel gedacht dat mensen complottheorieën bedenken om de wereld, die tegenwoordig erg ingewikkeld is door alle verwarrende informatiestromen, voor zichzelf weer begrijpelijk te maken door losstaande dingen te koppelen.

Complottheorieën zouden ook een nuttige rol kunnen spelen in een democratie: door alles wat de media meldt in twijfel te trekken, wordt de overheid gedwongen meer openheid in zaken te geven. Niet dat de echte complotdenker zich hier iets van aantrekt: alles wat de overheid zegt, kan een leugen zijn in hun complot.

Bewijs uit het ongerijmde

In de wiskunde kun je veel stellingen bewijzen met een waterdicht bewijs. De bewijzen liggen niet altijd voor de hand, maar als je ze hebt gevonden, zet je er Q.E.D. onder en ben je klaar. Tegenspraak niet meer mogelijk. Anders is dat met gebeurtenissen in de wereld en discussies daarover.

Discussies met een complotdenker kun je beter mijden. Mocht je er toch in verstrikt raken, geef je dan gewonnen. Complottheorieën kunnen weliswaar niet bewezen worden, maar al helemaal niet ontkracht. De bewijzen die je aan wilt dragen om een theorie in twijfel te trekken, zijn namelijk vals. Iemand heeft deze bewijzen aangedragen om het complot verborgen te houden. Dat is het wapen van de complotdenker: hij beroept zich op het feit dat alle bewijsstukken vals zijn. Op deze manier kun je hun ongelijk nooit bewijzen en hierdoor zijn complotten, als ze eenmaal ontstaan zijn, nooit meer helemaal uit de wereld te verhelpen.

En dan het internet...

Met de komst van het internet heeft de complottheorie het veel gemakkelijker gekregen om zich te versprei-

den. Er zijn talloze sites te vinden waarop theorieën over verschillende onderwerpen worden behandeld. Het is voor iedereen toegankelijk, dus iedereen die iets waanzinnigs toe te voegen heeft aan een waanzinnig verhaal, heeft daar de ruimte voor. Zo vullen de verhalen elkaar aan, maar relativeren ze elkaar ook. Het kan immers gebeuren dat verschillende theorieën elkaar tegenspreken.

Nog een kleine maar hardnekkige complottheorie ter afsluiting: het verhaal gaat dat toen het ruimteschip Apollo 11 in 1969 weer huiswaarts wilde keren, de Amerikaanse vlag omviel. De astronauten zagen het, de Amerikaanse overheid werd ervan op de hoogte gesteld, maar het werd angstvallig geheim gehouden. Zo'n knullige gebeurtenis zou de Amerikaanse trots krenken, het moest dus geheim blijven. Hoe wil je dit ontkrachten? Door een foto te maken? Maar wie zegt dat er in de tussentijd niet iemand bij is geweest? En dan nog, er is altijd nog Photoshop... •

Referenties

- [1] www.skepsis.nl/complottheorie.html
- [2] Polak. L., *Complot!*
- [3] Goertzel. T., *Belief in Conspiracy Theories*



Of was het toch Armsterk, de Nederlander, die als eerste op de maan stond?



THE

VIP

A FILM BY FLOW ■ TRADERS

ABOUT A VERY IMPORTANT PROGRAMMER

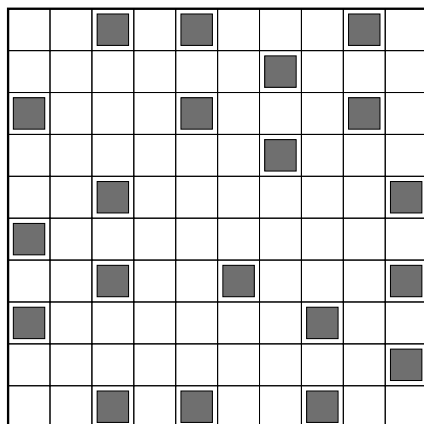
FLOW TRADERS IS AN INTERNATIONAL LEADER IN ELECTRONIC ARBITRAGE TRADING AND MARKET MAKING, AWARDED AS THE EUROPEAN ETF MARKET MAKER OF THE YEAR. FLOW TRADERS MONITORS INTERNATIONAL STOCK MARKETS, AND SEIZES UPON OPPORTUNITIES THROUGH INTELLIGENT ELECTRONIC ARBITRAGE PROCESSES, QUICKLY, EFFICIENTLY, AND VIRTUALLY WITHOUT RISK. FLOW TRADERS DISTINGUISHING ITSELF WITH RAZOR-SHARP TECHNOLOGY AND DEVELOP CUTTING-EDGE SOFTWARE TO STAY AHEAD OF THE COMPETITION. BY FOCUSING ON SPEED IN MARKETS WHERE EVERY SECOND COUNTS. HAVE YOU ALWAYS WANTED TO DESIGN, IMPLEMENT AND OPTIMIZE TRULY UNIQUE APPLICATIONS? AND DO YOU HAVE A KNACK FOR TRANSLATING BUSINESS REQUIREMENTS TO WORKING SOLUTIONS?

IN OTHER WORDS: ARE YOU OUR NEW VIP? VISIT WWW.VIPTHEMOVIE.COM OR VISIT ONE OF OUR IN-HOUSE DAYS!

Vorig Breinwerk

DOOR DE REDACTIE

Voor het vorige breinwerk hebben we vele inzendingen gehad. De mensen uit de toekomst waren erg blij met de oplossing, en kunnen met vreugde mededelen dat het universum is gered. De goede oplossing van deze puzzel is hiernaast afgebeeld; op alle plekken met een ■ moet een veld genereerd worden. Uit alle goede inzendingen is Bart Dopheide als winnaar uit de bus gekomen. Hij zal binnenkort het boek *Tellen van de tijd* van Jean Lefort ontvangen. •



Nieuw Breinwerk

DOOR DE REDACTIE

Arto Inkala, een Finse wiskundige, heeft als vreemde hobby moeilijke sudoku's maken. Zoals hij zijn er niet veel. Er zijn daarentegen heel veel mensen die sudoku's oplossen als hobby hebben. Mocht jij er zo een zijn, maar ben je ondertussen uitgekeken op de gemakkelijke drie-sterrenpuzzels van de dagelijkse gratis krant, probeer deze dan eens. Dr. Inkala claimt dat dit de moeilijkste ooit is. Dus, ga de uitdaging aan: pak een pen en los hem op!

		5	3					
8								2
	7			1		5		
4						5	3	
	1			7				6
		3	2					8
	6		5					9
		4						3
					9	7		



Een variant op de rubiks cube: de sudoku cube.

De regels:

1. In elk vak van 3×3 , alsmede in elke rij en kolom, dienen de cijfers 1 t/m 9 komen te staan.
2. Gokken mag niet, de juiste oplossing kan met logica beredeneerd worden.
3. Stuur je oplossing voor 21 november 2010 in naar perio@fmf.nl en maak kans op de sudoku cube. •

Kokkerellen

DOOR ELLEN SCHALLIG

zandkoekjes: 1 uur



pixelkoekjes: 3 uur



Voor de laatste aflevering van Kokkerellen maken we een uitstapje naar mijn jeugd: Ellen de koekenbakker. Ontzettend veel tijd stak ik in het maken van koekjes, cakes en taarten. Naarmate ik ouder werd, nam de beschikbare tijd af, maar altijd dacht ik met plezier aan de tijd dat ik uren in de keuken stond. Daarom nu terug naar vroeger met dit heerlijke zandkoekjesrecept!

Basisrecept

- 150 g bloem
- 75 g witte basterdsuiker
- 100 g koude boter
- mespuntje zout
- geraspte schil van een citroen

Zeef de bloem, de suiker en het zout in een kom en voeg de citroenrasp toe. Voeg de boter toe en snijd deze met twee messen in zo klein mogelijke stukjes door het mengsel. Kneed er met je handen een samenhangende bal van. Pak de deegbal in folie en laat hem ten minste 20 minuten in de koelkast rusten.

Rol het deeg op een met bloem bestoven werkblad uit tot een lap van ongeveer een halve centimeter dikte. Steek met een vorm figuurtjes uit. Leg de koekjes op enige afstand van elkaar op een ingevet of een met bakpapier bekleed bakblik en bak ze ongeveer 15 minuten op 150-170 graden. Laat de koekjes op een rooster afkoelen.

De zandkoekjes zijn in een afgesloten trommel een paar weken houdbaar.

Kleurrijke!

Als je iets anders wilt dan zandkleurige koekjes, kun je natuurlijk levensmiddelenkleurstof toevoegen. In Groningen is dit onder andere te koop bij de Aziatische supermarkt aan de Korreweg. Je kunt de kleurstof in twee varianten kopen: smaakloos en met aroma. Let op wat je koopt! Verdeel het deeg, voor het in de koel-

kast gaat, in porties en kneed er enkele druppels kleurstof door, totdat de gewenste kleur bereikt is. Houd er rekening mee dat dit het deeg vochtiger maakt; dit kun je zo nodig tegengaan door wat extra bloem toe te voegen. Je kunt ook kleuren met cacao, daar wordt het deeg weer harder van. Voeg zo nodig wat water toe.

Pixels!

Er zijn talloze uitsteekvormpjes te koop om je te helpen de perfecte cirkels, hartjes en sterretjes te maken, maar natuurlijk kun je ook zelf met een mes aan de slag. Zo kun je zelf vormen uitsnijden, of 'pixelkoekjes' maken: snijd deeg in verschillende kleuren tot repen en stapel deze op elkaar tot een balk. Snijd dan deze balk in plakjes om het plaatje zichtbaar te maken.

Je kunt steeds even hoge pixels maken door bijvoorbeeld zo'n apparaat van Play Doh te gebruiken (zie de foto). Let dan wel op dat het apparaat helemaal schoon is. Achteraf schoonmaken is ook een ontzettend karwei te zijn. Pixels zijn ook te maken door met een deegroller over twee balkjes aan weerskanten van het deeg te rollen. Zo krijg je steeds een even dikke plak die je in slierten kunt snijden. •

Recept en ideeën uit:

- Rhoer, van de, S., *Margriet kookboek, het complete basiskookboek*
- flic.kr/p/4f24za





Schut Geometrische Meettechniek is een internationale organisatie met vijf vestigingen in Europa en de hoofdvestiging in Groningen. Het bedrijf is ISO 9001 gecertificeerd en gespecialiseerd in de ontwikkeling, productie en verkoop van precisie meetinstrumenten en -systemen.

Schut Geometrische Meettechniek is een bedrijf dat mensen met ideeën en initiatief waardeert. De bedrijfsstructuur is overzichtelijk en de sfeer is informeel met een "no nonsense" karakter.

Op de afdelingen voor technische verkoop, software support en ontwikkeling van onze 3D meetmachines werken mensen met een academische achtergrond. Hierbij gaat het om functies zoals **Sales Engineer**, **Software Support Engineer**, **Software Developer (C++)**, **Electronics Developer** en **Mechanical Engineer**.

Voor dergelijke functies zijn ook stageplaatsen beschikbaar, die eventueel uitzicht bieden op een baan.

Indien je geïnteresseerd bent, kun je altijd contact opnemen om een afspraak te maken voor een oriënterend gesprek op onze hoofdvestiging.

Open sollicitaties zijn ook zeer welkom. Voor echt talent is altijd ruimte.

Voor meer informatie kijk op www.Schut.com en Vacatures.Schut.com, of stuur een e-mail naar Sollicitatie@Schut.com.

