

# perio\*diek

op regelmatige tijden terugkerend jaargang 2014 nummer 3

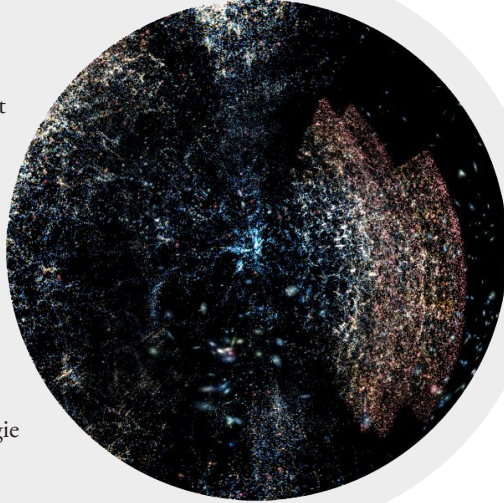


# Inhoud

## 24 Triangulating the Darkness

Wat is de structuur van het heelal? Wat voor effecten hebben donkere materie en donkere energie hierop?

Conventionele methoden hebben voorsnog niet het antwoord kunnen bieden. In dit artikel wordt gekeken of topologie dat wel kan.



## In deze Periodiek

- 4 In het nieuws
- 6 Breinwerk
- 10 How we saved the Big Bang
- 14 Van de Intern
- 16 Koken: Trifle
- 18 SIHB: PhD in the United States
- 24 Triangulating the darkness
- 31 Do, e, pi



## 31 Do, e, pi

Heb je altijd al willen weten waarom muziek soms vals klinkt? Of wat het betekent dat muziek niet vals is? Blader dan snel door naar pagina 31 en je zult het antwoord vinden.



## 18 SIHB: PhD in the United States

Heb jij ook de ambitie om na je studie een PhD te doen? Denk er dan ook eens over na om dit in de VS te doen. Okke Schrijvers vertelt je wat de voordelen hiervan zijn.

**Redactie** Derk Rouwhorst, Steven van der Veeke, Douwe Visser, Bart Marinissen, Maike Jaspers, Joyce Popping, Klaas Hakvoort.

**Scribenten** Corine Meinema, Ricardo de Ruiter, Maike Jaspers, Inne Lemstra, Okke Schrijvers, Keimpe Nevenzeel, Thomas ten Cate.

**Adverteerders** Philips (p. 15), ASML (p. 22 - 23), Talent&Pro (p. 35), Schut (p. 36).

Ook adverteren? Neem contact op via [bestuur@fmf.nl](mailto:bestuur@fmf.nl).

Oplage 1100 stuks

Druk Gildeprint

ISSN 1875-4546

**De Periodiek** is een uitgave van de Fysisch-Mathematische Faculteitsvereniging en verschijnt vier keer per jaar. Eerder uitgebrachte Periodieken zijn na te lezen op [perio.fmf.nl](http://perio.fmf.nl). De redactie is te bereiken via [perio@fmf.nl](mailto:perio@fmf.nl).

## Van de redactie

In mei legt elke vogel een ei, laat het nu net mei geweest zijn. Daarom verwacht ik dat er straks allemaal nieuwe vogels zijn die mij 's ochtends op de fiets begroeten. Een tijdje geleden zag ik de eerste lammetjes in de wei lopen en hoewel kalfjes bij de moderne boer het hele jaar door geboren kunnen worden, vind ik het nu ook de tijd voor jonge kalfjes. Al het jonge spul is zo mooi om te zien, te aaien en te knuffelen. Daarom hebben we als redactie ook besloten om een knuffelkoe op de voorkant te plaatsen. Het leukste van dieren vind ik dat, wanneer je ze in hun behoeften voldoet, ze volkomen tevreden zijn. Hoe anders is dat bij mensen; niks is genoeg, nooit

ben je volkomen klaar. Heb je net dat enorm moeilijke tentamen gehaald, is het volgende vak alweer begonnen. Heb je net een nieuwe telefoon, is er alweer een nieuwere versie uitgekomen.

Daarom zou ik graag eens met een dier willen ruilen. Om een klein beetje hierbij te helpen hebben wij als Perio\*diek-redactie het thema dieren gekozen. Waan je daarom tijdens het lezen van de Perio\*diek in het rijk van de dieren en voel je als een vis in het water •

— Douwe Visser

# In het nieuws

## Waarom raakt een octopus nooit in de knoop

Aan de armen van een octopus bevinden zich honderden zuignappen. Die zuignappen blijven aan bijna alles vastzitten, maar doorgaans niet aan de octopus zelf. Dat is maar goed ook, want anders zou de octopus al snel in de knoop raken. De grote vraag is dan ook: hoe komt het dat de octopus zijn zuignappen in principe nooit op zijn eigen lijf vastzet?

Een mogelijke verklaring is dat de octopus precies weet waar zijn armen zich bevinden en zo voorkomt dat één arm een andere arm grijpt. Maar experimenten tonen aan dat de octopus niet weet waar zijn armen zich precies bevinden. Hoe voorkomt een octopus dan dat hij in de knoop raakt? Om dat uit te zoeken hebben de onderzoekers een aantal experimenten opgezet.

Ze gebruikten daarvoor geamputeerde armen van octopussen die tot enkele uren na de amputatie actief zijn. Uit de experimenten blijkt dat armen van een octopus nooit de huid van een octopus vastgripen. Ze grijpen wel een ontvelde octopusarm maar petrischaaltjes bedekt met octopushuid niet. Petrischaaltjes bedekt met een extract van de octopushuid pakken ze wel, maar met aanzienlijk minder kracht dan ze andere objecten vastgrijpen. De resultaten laten voor het eerst zien dat de huid van de octopus voorkomt dat de armen van de octopus zich aan elkaar vastmaken.

scientas

## Wat is hét geheim van dé perfecte schuimkraag?

Biertappen is een kunst op zich. Is de temperatuur van het bier goed? Zijn de glazen gespoeld? Tevens moet ervoor gezorgd worden dat het bierglas op de juiste manier onder de kraantuit van een biertap gehouden wordt. Allemaal punten om rekening mee te houden. Toch is het grote geheim van een perfecte schuimkraag LTP1.

Wetenschappers van de Cornell universiteit beweren dat de juiste hoeveelheid LTP1, een graan endospermeiwit, van groot belang is voor goed bierschuim. LTP1 stabiliseert het schuim doordat het vetten aan elkaar bindt. De concentratie LTP1 in bier is echter afhankelijk van de groeiomstandigheden van de gerst, waardoor het ene biertje een betere schuimkraag heeft dan het andere.

Omdat het moeilijk is grip te krijgen op LTP1, werken bierbrouwers aan genetisch gemanipuleerd gist. Dit gist scheidt zoveel van het schuimeiwit uit, dat het niet uitmaakt of er een droge of natte zomer is geweest.

scientas

## Printplaat met de snelheid van hersenen

De droom van een computerbouwer is het nabootsen van het menselijk brein. Niets elektronisch komt in de buurt van de efficiëntie en snelheid van onze hersenpan - als ons brein een computer zou

zijn, zou deze minstens 10.000 keer zuiniger zijn dan de gangbare computers en praktisch oneindig veel sneller.

Bio-ingenieurs van de Amerikaanse Stanford University lijken nu een stapje dichterbij de droom in de buurt. Ze hebben een printplaat gebouwd die een beetje in de buurt komt van de menselijke rekenkracht. De plaat is volgens de makers 9000 keer sneller dan een gemiddelde pc en verbruikt maar een fractie van de energie: 40.000 keer minder.

In totaal bevat de plaat zestien chips, die slim samenwerken om zo de verbindingen in het brein te simuleren. Samen staan ze voor ongeveer een miljoen hersencellen - een fractie in vergelijking met de 80 miljard die mensen hebben. Bovendien verbruikt het brein maar drie keer zoveel energie, terwijl het 80.000 keer zoveel rekenkracht heeft. Met andere woorden: deze uitvinding is nog lang niet het perfecte computerbrein.

deingenieur

## Enorme vlek van Jupiter krimpt steeds sneller

Midden op de planeet Jupiter zit al eeuwenlang een gigantische rode vlek, een enorme storm, en die vlek wordt steeds kleiner. De doorsnee is nu nog maar 16.500 kilometer, kleiner dan ooit eerder gemeten.

Dat blijkt uit nieuw onderzoek van de Amerikaanse ruimtevaartorganisatie NASA, dat de ruim-

tetelescoop Hubble naar Jupiter heeft laten kijken. De oorzaak van de krimp is niet bekend. De Grote Rode Vlek is een storm die vanaf de aarde te zien is met telescopen. De wind haalt er snelheden tot 680 kilometer per uur. Het is niet bekend hoe lang de storm al raast. Eind 19e eeuw was de vlek nog ongeveer 41.000 kilometer in doorsnee. Dat betekent dat de aarde er drie keer in zou passen. Rond 1980 was de doorsnee nog maar 23.335 kilometer. De storm bleek in 2009 verder gekrompen, tot bijna 18.000 kilometer, en is nu dus 16.500 kilometer. Tussen 1996 en 2006 werd de vlek dagelijks een kilometer kleiner. Nu krimpt de vlek al drie keer zo snel. Als dat continu door zou gaan, is het kenmerk van Jupiter over enkele decennia weg. Wetenschappers durven echter niet te zeggen of het echt zo ver kan komen.

nu

## De 3D-printer kan nu ook teddyberen afleveren

3D-printers kunnen alles maken. Tenminste: alles wat van harde materialen zoals plastic en metaal is. Pluizige teddyberen spuugden de printers nog niet uit. Amerikaanse wetenschappers brengen daar verandering in.

Onderzoekers van Carnegie Mellon University en Disney Research Pittsburgh hebben een 3D-printer ontwikkeld die pluizige producten print. Het apparaat is een soort kruising tussen een 3D-printer en

een naaimachine en produceert vilten spullen.

Een 'normale' 3D-printer bouwt materialen laagje voor laagje op. Als zo'n 3D-printer bijvoorbeeld een plastic onderdeel moet maken, doet deze dat door een lijntje gesmolten plastic op een oppervlak te spuiten. Heel veel van die lijntjes naast elkaar vormen een dun laagje. Is het laagje af, dan spuit de printer er een laagje bovenop. Net zolang tot het object voltooid is. De 3D-printer laat zich daarbij leiden door een computerontwerp. Ook de 3D-printer die 'zachte' objecten maakt werkt aan de hand van een computerontwerp. Hij spuit alleen geen vloeibare lijntjes plastic, maar draadjes. Lijntjes gesmolten plastic hechten vanzelf aan elkaar. De draadjes doen dat niet. Om er toch voor te zorgen dat die één geheel vormen, is de printer uitgerust met een naald die zichzelf herhaaldelijk door het garen jaagt en zo de verschillende draden en lagen aan elkaar naait.

scientias

## Mensen ruiken het andere geslacht onbewust

Mensen kunnen onbewust ruiken of iemand van het andere geslacht is, blijkt uit nieuw onderzoek. Als heteroseksuele mannen of vrouwen worden blootgesteld aan geurstoffen van het andere geslacht, zijn ze eerder geneigd om de andere sekse te herkennen in een gestalte op de computer.

Wanneer mensen homoseksueel zijn, worden ze bij hun waarnemingen juist beïnvloed door deze zogenoemde feromonen van hetzelfde geslacht. De wetenschappers kwamen tot hun bevindingen door heteroseksuele en homoseksuele proefpersonen te laten kijken naar bewegende gestalten van mensen op een computerscherm. De gestalten werden weergegeven in de vorm van twaalf punten die het hoofd, de longen en enkele andere belangrijke onderdelen van het lichaam representeerden, zodat niet goed was te zien of het ging om een man of een vrouw.

De proefpersonen werden tijdens het kijken naar de beelden soms blootgesteld aan androstadiënon, een mannelijke geurstof die onder meer wordt aangemaakt in de oksels van mannen. Op andere momenten werden ze geconfronteerd met estratetraenol, een vrouwelijke geurstof die onder meer voorkomt in de urine van vrouwen.

Deze geuren zijn te zwak om bewust te worden waargenomen door mensen. Toch bleek uit het onderzoek dat de proefpersonen door de feromonen werden beïnvloed bij hun waarneming van de gestalten, afhankelijk van hun seksuele oriëntatie. Volgens de wetenschappers suggereren de bevindingen dat de geurstoffen een grote rol spelen bij seksuele communicatie. "Onze bevindingen laten zien dat de menselijke neus het geslacht van iemand kan ruiken aan de afscheidingen uit het menselijk lichaam, zelfs als we denken dat we niets ruiken."

nu

# Vorig Breinwerk

## *Geheimschrift*

DOOR DE REDACTIE

Het breinwerk “Geheimschrift” is gewo-  
nen door Bram van Zessen en Natasja  
Schoonen. Hij had de code exact goed  
vertaald, een getuigenis van echte genialiteit, het  
was geen gemakkelijke code. De complete ver-  
zameling van alle Sherlock Holmes boeken van

Sir Arthur Conan Doyle worden dan ook met onze  
hartelijke felicitaties uitgereikt aan Bram, gefeliciteerd!

Voor wie het breinwerk toch net iets te raadselachtig  
vond, staat hieronder de oplossing •

### De oplossing

Elke regel uit deze code vertegenwoordigt een woord  
uit een oude Perio\*diek (alle Perio\*dieken zijn te vin-  
den op [perio.fmf.nl](http://perio.fmf.nl)). Vandaar ook dat vele een oude  
Perio\*diek meegezonden kregen als tip. De volgorde  
in de code is als volgt: laatste twee cijfers van het jaar  
van de Perio\*diek, editienummer of nummers van de  
maanden waarin de Perio\*diek uitkwam, nummer van  
de bladzijde, nummer van de alinea en nummer van  
het woord. De titels, kopjes, ondertitels, inleidingen,  
grijze gedeeltes en citaten deden niet mee, woorden  
met een streepje, afkortingen en formules golden al-  
lemaal als een woord, zoals in de opgave aangegeven.

Zo krijg je voor de eerste regel van de code:  
1 1 1 1 4 1 1  
jaar 2011, editie 1, pagina 14, alinea 1 en woord 1,  
dit is het woord ‘Ik’.

De rest van de code geeft deze woorden als vertaling:

075610350	-	denk
039103130	-	dat
09124114	-	de
1328364	-	snaartheorie
0611129252	-	zelfs
14114558	-	als
132735	-	die
10417691	-	juist
081626	-	is
073432137	-	te
0491014186	-	moeilijk
13230235	-	te
05127140	-	doorgronden
14122118	-	is.

Oftewel, “Ik denk dat de snaartheorie, zelfs als die juist  
is, te moeilijk te doorgronden is.”

Met een beetje zoeken op internet, vinden we vervol-  
gens dat deze uitspraak van Edward Witten is.



# Nieuw Breinwerk

## Dierenrebus

DOOR CORINE MEINEMA & DE REDACTIE

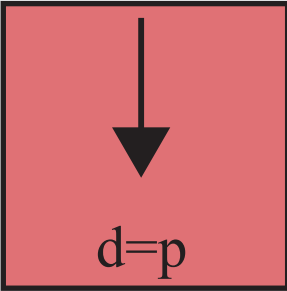


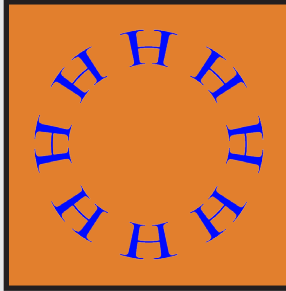

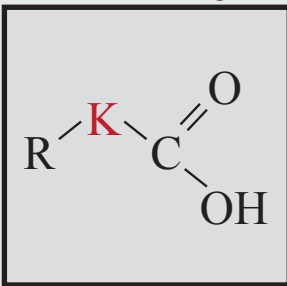
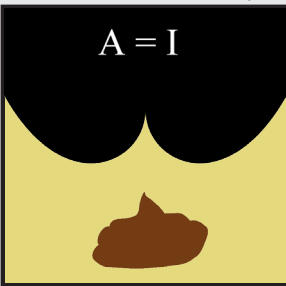
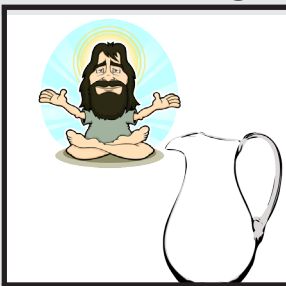
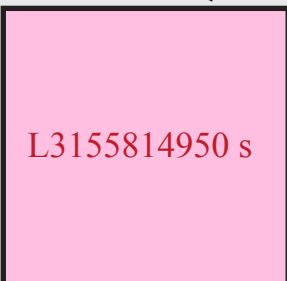
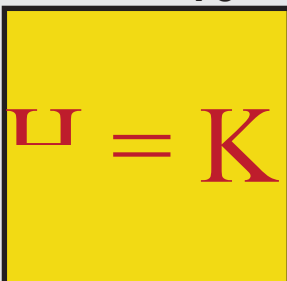
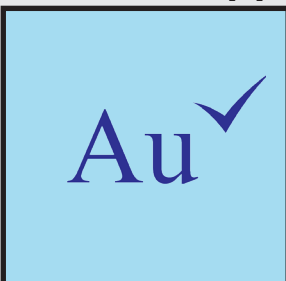

Voor wie altijd met veel genoegen naar de Kerstpuzzel van het Dagblad van het Noorden uitkijkt, hieronder een soortgelijke puzzel! We willen Corine Meinema hartelijk bedanken voor deze puzzel, zij heeft hem helemaal uitgedacht.

Heb je de oplossing gevonden? Stuur dan voor 26 juni je oplossing naar [perio@fmf.nl](mailto:perio@fmf.nl). Onder de goede inzendingen wordt een knuffelkoe verlost. Veel puzzelplezier! •

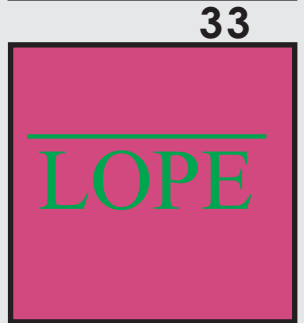
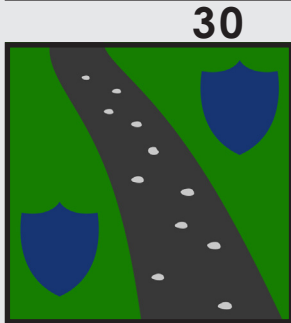
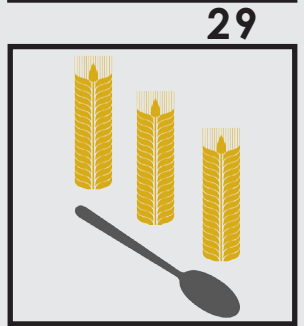
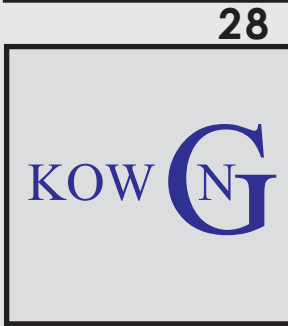
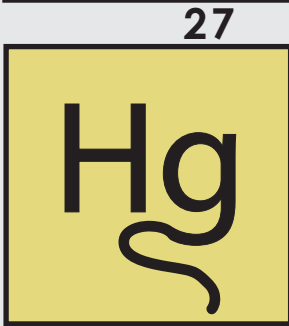
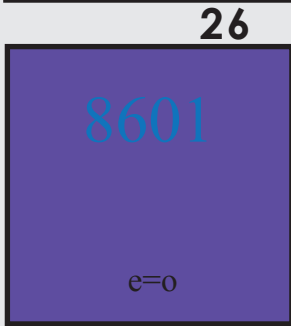
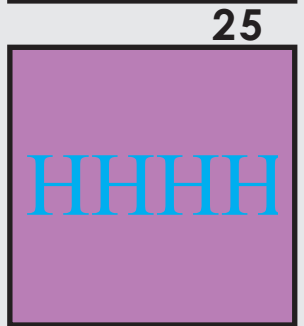
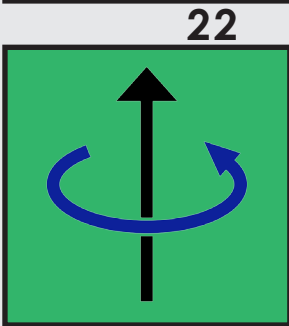
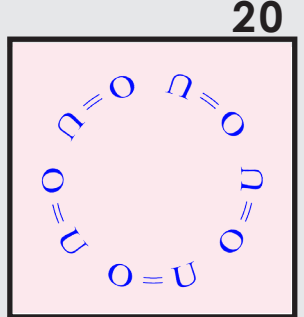
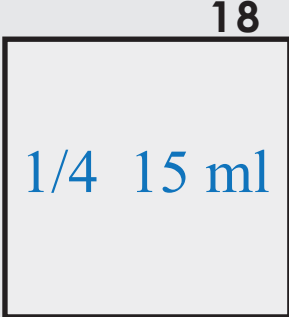
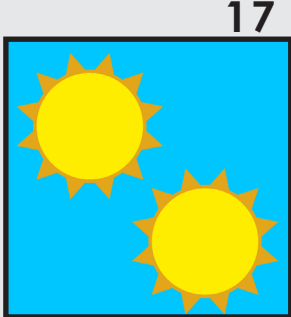
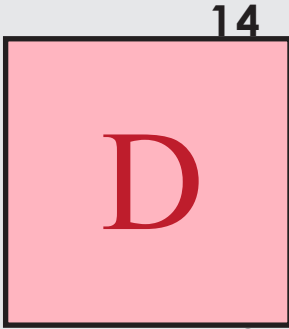
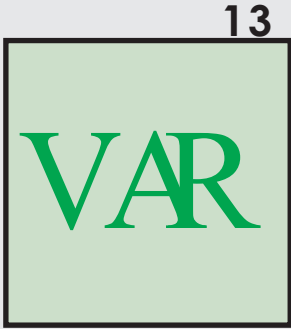
### De opgave

Voor wie nog nooit van de kerstpuzzel gehoord heeft, de puzzel werkt als volgt: hieronder staan 33 afbeeldingen. Iedere afbeelding beeldt één woord uit, met het thema 'dieren'. Wanneer je deze woorden vervolgens

invult in het rooster, op de laatste pagina van dit breinwerk, toont zich in de gekleurde hokjes van boven naar beneden een zin. Deze zin is de oplossing van dit breinwerk!

<p>1</p> 	<p>2</p> 	<p>3</p> 	<p>4</p> 
<p>5</p> 	<p>6</p> 	<p>7</p> 	<p>8</p> 
<p>9</p> 	<p>10</p> 	<p>11</p> 	<p>12</p> 

Vervolg van de opgave





Vervolg van de opgave

The crossword puzzle grid consists of 33 numbered starting points for words. The grid is composed of white squares for letters and grey shaded squares for empty space. The numbers are: 1 (down), 2 (down), 3 (down), 4 (right), 5 (right), 6 (right), 7 (right), 8 (right), 9 (right), 10 (right), 11 (right), 12 (right), 13 (right), 14 (right), 15 (right), 16 (right), 17 (right), 18 (right), 19 (right), 20 (right), 21 (down), 22 (down), 23 (down), 24 (down), 25 (right), 26 (right), 27 (right), 28 (right), 29 (right), 30 (right), 31 (right), 32 (right), 33 (right).

# How we saved the Big Bang

DOOR RICARDO DE RUITER

Het ontstaan van ons universum is sinds mensenheugenis een van de belangrijkste vragen geweest van de mensheid. Er bestonden (en bestaan nog steeds) veel theorieën over hoe dit kon gebeuren. Eén van de meest wetenschappelijk gangbare hiervan is uiteraard de oerknal: het moment waarop zowel tijd als ruimte begonnen, inmiddels een kleine veertien miljard jaar geleden. Waar we de oerknaltheorie tegenwoordig als gangbaar beschouwen, is het echter wel een theorie die het in de zeventiger jaren zwaar te verduren had.

**N**a een bestaan van ruim veertig jaar kwamen er vanuit de hoek van de kosmologie verscheidene problemen aan het licht die de theorie in een ander daglicht stelden. Deze problemen konden namelijk niet verholpen worden door het tot dan toe bestaande model. Ook vanuit de kwantumwereld, vooral voortkomend uit de opkomst van unificerende theorieën, waren er problemen met het oerknalmodel. De oplossing van deze problemen kwam begin jaren tachtig met de komst van de theorie van kosmische inflatie, gepostuleerd door Alan Guth [1]. Welke problemen dit waren en hoe ze werden opgelost door inflatie zal hieronder per probleem beschreven worden.

## Horizonprobleem

Eén van de problemen met de Big Bang was het zogenaamde horizonprobleem. Vooral de eerste metingen aan de kosmische achtergrondstraling, de CMB, gaven aanleiding hiertoe. Uit deze waarnemingen bleek namelijk dat het heelal in alle richtingen nagenoeg dezelfde temperatuur had. In het kader van de (algemene) relativiteitstheorie is dit een groot probleem: het zou inhouden dat bijvoorbeeld de delen van het universum die wij waarnemen aan weerszijden van onszelf ergens in het verleden met elkaar in thermisch contact hebben gestaan. Gezien de beperkte grootte van de kosmische horizon in het verleden is dit echter onmogelijk. De gehele afleiding van deze relatie wordt gedaan in [2] (pagina 25 en verder; deze zal hier niet in zijn geheel gereproduceerd worden). Uit deze berekening volgt dat de onderlinge afstand tussen de twee “tegenoverliggende delen” van het universum vele malen groter is dan de grens waarbinnen deze gebie-

den thermisch contact met elkaar gehad hebben. In dit licht is het dus onmogelijk dat wij in de CMB zo’n vreselijk sterke uniformiteit van de temperatuur zien, zoals in figuur 1.

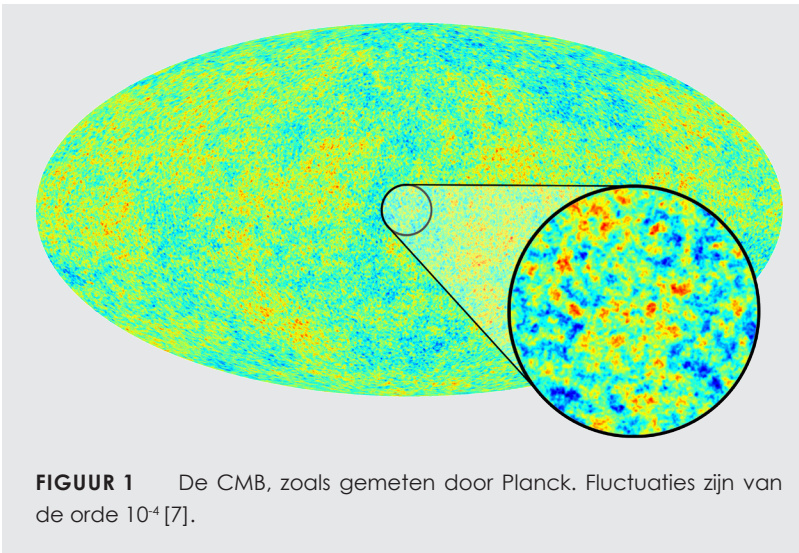
## Vlakheidsprobleem

Het tweede probleem van het oerknalmodel heeft te maken met de zogenaamde vlakheid van het universum. Een belangrijke relatie die hierbij een rol speelt is de volgende:

$$(\Omega^{-1} - 1)\rho a^2 = \frac{kc^2}{8\pi G}$$

Deze vergelijking volgt uit de Friedmann-vergelijking. In deze vergelijking is  $\Omega$  de zogenaamde dichtheidparameter, een genormaliseerde grootheid die de dichtheid van het universum vergelijkt met de kritische dichtheid: de dichtheid waarvoor het universum exact vlak is. Aan de rechterzijde van de vergelijking staan enkel constantes, dus de linkerzijde moet ook constant blijven voor het universum om vlak te blijven. Waarom is dit nodig? Omdat we vandaag de dag waarnemen dat het universum nagenoeg vlak is.

Hier vormt de term  $\rho a^2$  een probleem: allereerst neemt ( $\rho$ ), de dichtheid, af naarmate het universum uitdijt. Aan de andere kant neemt  $a$ , de “schaal” van het universum juist toe met de uitdijning. Daarbij moet gezegd worden dat  $\rho$  veel sneller afneemt dan  $a^2$  groeit. Hierdoor moet  $(\Omega^{-1} - 1)$  voldoende groeien om de afname van  $\rho a^2$  te compenseren. Om dan in het heden een waarde van  $\Omega$  te krijgen waarbij het universum nagenoeg vlak is, moest het universum bij een leeftijd van  $10^{-12}$  seconden voldoen aan de relatie  $(\Omega^{-1} - 1) \leq 10^{-30}$ . Elke kleine afwijking van een vlak universum houdt dus in dat het universum neigt naar een niet-vlakke



**FIGUUR 1** De CMB, zoals gemeten door Planck. Fluctuaties zijn van de orde  $10^{-4}$  [7].

we hier op terug, aangezien er wel een groep is, die ooit een “claim” heeft gedaan er eentje te hebben waargenomen).

### Inflatie

De drie bovengenoemde problemen lagen begin jaren '80 allen duidelijk op tafel. Toen kwam in 1981 Alan Guth die een model voorstelde,

toestand. De mate van fijn afstellen van parameters in dit geval vormt een groot probleem [3, 4].

### Monopoolprobleem

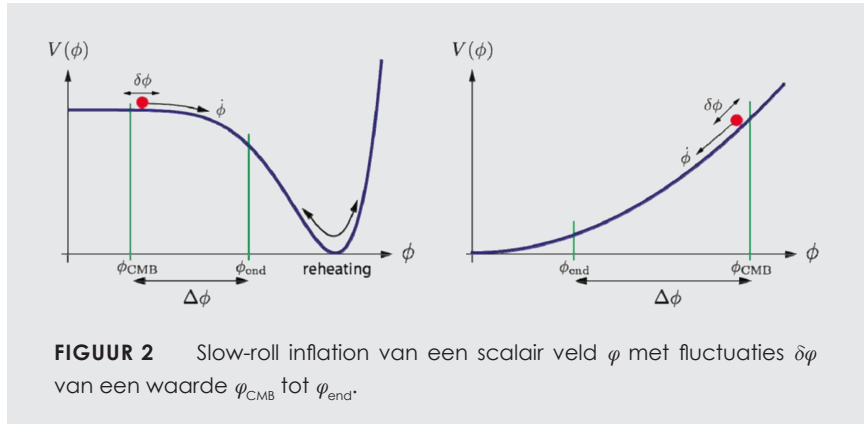
Het derde en in principe laatste grote probleem van het oerknalmodel, is het monopoolprobleem. Dit heeft te maken met de unificatie van de verschillende natuurkrachten op hogere energieschalen. Een voorbeeld hiervan is de elektrozwakke wisselwerking, die de zwakke kernkracht en electromagnetisme verenigt op een energieschaal van ongeveer 100 GeV. Als we teruggaan in de tijd zien we dat het universum een hogere dichtheid krijgt en daarbij dus een hogere temperatuur. In de vroegste stadia van het universum was de energieschaal ook groter. De gemiddelde temperatuur rond  $t = 10^{-12}$  s komt overeen met de energieschaal van de elektrozwakke kracht. Gaan we nog verder terug de tijd in, dan wordt deze energie nog veel hoger.

Hierbij komen we in het rijk van theorieën die trachten de zwaartekracht en het standaardmodel te unificeren. Er zijn weliswaar vele modellen die deze unificatie proberen te verwezenlijken, echter hebben ze vrijwel allemaal de overeenkomst dat ze exotische deeltjes op de hoogste energieschalen voorspellen, waaronder magnetische monopolen. Het probleem is dat deze voorspelde monopolen stabiel zouden moeten zijn en in enorm grote getalen voor zouden moeten komen, maar nog “nooit” zijn ze waargenomen (later komen

waarin een universum vervalt vanuit een zogenaamd vals vacuum naar een lager gelegen energieniveau [1]. Die energie die vrijkwam bij deze fase-overgang bleek een bron voor een kosmologische constante. Hierdoor ontstaat een mogelijkheid een periode van exponentiële expansie te krijgen in het universum. Dit model, dat Guth inflatie noemde, loste hierdoor gelijk het monopoolprobleem op. Als het universum door zo'n snelle en grote uitdijingsfase zou zijn gegaan zou de dichtheid van magnetische monopolen drastisch afnemen, zover zelfs dat het heel goed zou kunnen dat wij in ons hele waarneembare universum hooguit één monopool zouden kunnen hebben (terugkomend op de opmerking in de vorige paragraaf: als er inderdaad een keer een waarneming zou zijn geweest van een monopool is het zeer aannemelijk dat we er nooit meer een zullen waarnemen, simpelweg omdat er nu zo weinig zijn).

Tevens loste de theorie hiermee ook het horizon- en vlakheidsprobleem op. Tijdens inflatie vond er voor  $10^{-36}$  s  $\leq t \leq 10^{-32}$  s zo'n dramatische exponentiële expansie plaats dat het universum een factor  $e^{50}$  tot  $e^{60}$  groeide (50 á 60 zogenaamde  $e$ -folds). Voor die tijd had het hele universum, minuscule als het toen was, tijd gehad om in thermisch contact te zijn, waarbij het universum nagenoeg overal dezelfde temperatuur had. Na de uitdijng werd deze energieverdeling als het ware ingevroren in het universum waardoor de hele hemel in de CMB dezelfde temperatuur lijkt te hebben (op de zeer kleine fluctuaties na, zoals te zien in figuur 1).

Tevens zal enige afwijking van een vlak universum door deze expansie nagenoeg naar 0 gebracht worden, omdat door de expansie de term  $\rho a^2$  dus even snel afneemt.



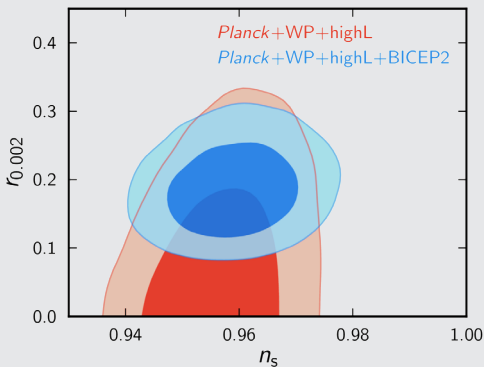
**FIGUUR 2** Slow-roll inflatie van een scalaire veld  $\phi$  met fluctuaties  $\delta\phi$  van een waarde  $\phi_{\text{CMB}}$  tot  $\phi_{\text{end}}$ .

### They See Me Rollin'

De theorie van Guth had echter nog enkele problemen die hij zelf ook had ontdekt, maar helaas niet volledig kon oplossen. De inflatietheorie die tegenwoordig het meest gangbaar is werd enkele jaren later ontwikkeld, en deze theorie loste ook de problemen van Guth's theorie op [5, 6]. Deze theorie werd gepresenteerd door Andrei Linde en werd chaotische inflatie genoemd. Deze theorie nam als premisse dat inflatie plaatsvond door het bestaan van een scalaire veld (een spin-0 veld; het Higgsboson is eenzelfde soort veld) dat langzaam een potentiaal afrolt naar een minimum: het inflaton. Dit principe is de aanleiding voor de naam van dit soort inflatie: slow-roll inflation. Het veld verliest daarbij potentiële energie, die wordt omgezet in expansie. Belangrijk is hierbij dat het veld langzaam rolt, omdat alleen dan expansie kan plaats-

vinden. Neemt de potentiaalverandering teveel toe, dan stopt inflatie. In figuur 2 is dit geïllustreerd.

Het slow-rollformalisme biedt ons ook gelijk de oplossing voor de oorsprong van de fluctuaties in de CMB. Doordat we een quantumveld associeren met de drijvende kracht achter inflatie krijgen we de quantumfluctuaties behorend tot zo'n veld op de koop toe. Dit zorgt ervoor dat één inflaton mogelijk een iets andere energie heeft tijdens inflatie dan een ander. Deze quantumnatuur van inflatie is de bron voor de zogenaamde zaden (iets dichtere gebieden in het universum) die uiteindelijk de structuurvorming in het universum teweeg brachten. Hier gaan we in dit stuk verder niet op in.



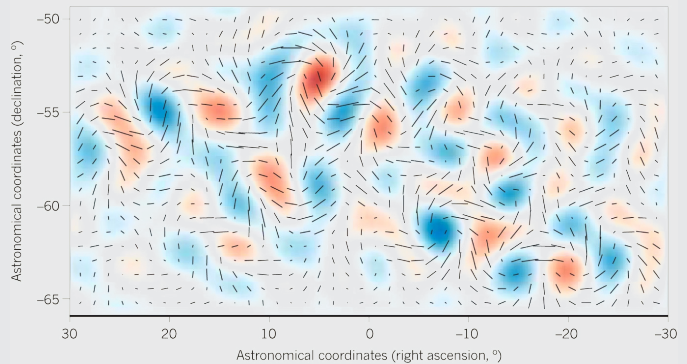
**FIGUUR 3** Deze plot toont de toegelaten waarden van  $r$  (op de verticale as) ten opzichte van een andere parameter,  $n_s$ .  $r = 0.15$  is de meest gunstige fit op dit moment [8].

### COSMIC CURL

The BICEP2 instrument observed a faint but distinctive twisting pattern, or spin, known as a curl or B-mode, in the polarization of the cosmic microwave background. This is the first evidence for gravitational waves generated by rapid inflation of the Universe some 13.8 billion years ago.

#### Spin intensity

■ Clockwise ■ Anti-clockwise  
/ Polarization strength and orientation at different spots on the sky.



**FIGUUR 4** Het polarisatiepatroon gemeten door BICEP2 [9].

## “De ratio $r$ ”

In verband met de laatste ontwikkelingen in het veld van inflatie wordt hier nog even iets meer ingegaan op één van de belangrijke grootheden die gemeten kan worden aan de CMB: de tensor-to-scalar ratio. Deze observabele is inherent aan inflatiemodellen en biedt een manier om de echo's van inflatie waar te nemen. Elk model heeft zijn eigen voorspellingen voor deze grootheid, alsmede voor andere grootheden waar in de rest van deze paragraaf niet op zal worden ingegaan.

$r$  beschrijft de mate van tensorperturbaties ten opzichte van scalarperturbaties in het vroege universum. De scalarperturbaties zijn de temperatuurfuctuaties die we zien in de CMB en zijn vrij makkelijk te observeren. De tensorperturbaties daarentegen zijn lastiger waar te nemen. Deze komen van fuctuaties in het graviton, het gepostuleerde spin-2 krachtsbemiddelingsdeeltje voor zwaartekracht (het equivalent van het foton voor elektromagnetisme). Fuctuaties in dit veld zijn feitelijk zwaartekrachtsgolven, in dit geval de rimpelingen van het ontstaan van ons universum.

Een jaar geleden plaatste de Planckcollaboratie, van de gelijknamige satelliet, een bovenlimiet op de grootheid:  $r < 0.11$  [10]. Hiermee kon de waarde van  $r$  praktisch nog alle kanten op, beneden die waarde. Het simpelste model van chaotische inflatie,  $\varphi^2$ , werd hiermee nagevoeg uitgesloten. Een paar maanden geleden kwam echter een paper van de BICEP2-collaboratie die het polarisatiepatroon kenmerkend voor deze golven had waarnemen in de CMB [11]. Het nieuws was alles wat de wetenschappelijke gemeenschap die zich bezig houdt met inflatie niet had verwacht:  $r = 0.2$ , met een enorme zekerheid. Daarmee wordt in de natuurkunde officieel gesteld dat de waarde  $r = 0$ , die door Planck nog werd toegelaten, wordt uitgesloten. De gecombineerde data suggereert dat het simpelste inflatiemodel, wwwde eerder genoemde  $\varphi^2$ -theorie, de juiste is.

## Rolling on

Met de ontdekking van BICEP2 zou best het meest harde bewijs voor inflatie ooit gekomen kunnen zijn.

Het feit dat  $r$  een waarde groter dan nul heeft bewijst niet alleen dat er inflatie geweest moet zijn, tevens bewijst het dat er een quantumveld voor zwaartekracht moet zijn en dat er zwaartekrachtgolven bestaan. De implicaties zijn enorm en in vele kringen werd de term “Nobelprijs” al snel genoemd.

Echter gaan de laatste weken ook steeds meer geluiden op van fouten in de metingen van BICEP2, waardoor de kous nog zeker niet af is. Voor inflatie zijn de komende maanden en jaren zeer spannend, vooral omdat Planck binnenkort ook data aangaande polarisatie door zwaartekrachtsgolven vrij gaat geven. Daarnaast zijn er nog vele experimenten die mogelijk de resultaten van BICEP2 zullen bevestigen of ontkrachten (evenals een opvolger van BICEP2 zelf, Keck genaamd).

Hoe je het ook wendt of keert, inflatie is een succesvol model gebleken dat de Big Bang gered heeft van zijn problemen. Of de modellen die we hebben correct zijn zullen we de komende tijd moeten afwachten •

## Referenties

- [1] Alan Guth, The Inflationary Universe, Physical Review D23: 347
- [2] Roberta Braver, Inflationary Cosmology and the Horizon and Flatness Problem: The Mutual Constitution of Explanation and Questions
- [3] Andrew Liddle, An Introduction to Modern Cosmology ISBN 0470 848359
- [4] Peter Coles and Francesco Lucchin, Cosmology, ISBN 0-471-95473-X
- [5] Andrei Linde, Eternal Chaotic Inflation, Mod.Phys. Lett. A1 (1986) 81
- [6] Andrei Linde, Eternally Existing Selfreproducing Chaotic Inflationary Universe, Phys.Lett. B175 (1986) 395-400
- [7] Planck Map [http://www.astro.cardiff.ac.uk/~spxcen/CMB/Sims/Planck\\_comb\\_rbcoll\\_scaled.png](http://www.astro.cardiff.ac.uk/~spxcen/CMB/Sims/Planck_comb_rbcoll_scaled.png)
- [8] Planck/Bicep <http://quantumfrontiers.files.wordpress.com/2014/03/bicep2-rvsn.png>
- [9] Cosmic Curl [http://www.nature.com/polopoly\\_fs/7.16190.1395080012!/image1/cosmic-curl.jpg?gen/derivatives/fullsize/cosmic-curl.jpg](http://www.nature.com/polopoly_fs/7.16190.1395080012!/image1/cosmic-curl.jpg?gen/derivatives/fullsize/cosmic-curl.jpg)
- [10] Planck paper, arXiv:1303.5076
- [11] BICEP2 paper, arXiv:1403.3985

# Van de Intern

DOOR MAIKE JASPERS

Zelfs als je het voorrecht hebt regelmatig stukjes te mogen schrijven voor de Perio\*diek als redactielid, is het nog niet makkelijk om een stukje te schrijven voor de Perio\*diek als bestuurslid. Er zijn ontzettend veel dingen waar je als bestuurslid mee te maken krijgt, maar om dit nu allemaal te gaan vertellen is veel te veel. Dus, wat wil je er dan wel inzetten?

**N**a negen dagen bidden tot de negen Griekse muzen: Erato, Euterpe, Kalliope, Klio, Melpomene, Polyhymnia, Terpsichore, Thalia en Urania sijpelt er nog niet echt een creatieve gedachte door. Ik ben al voorgesteld door Natascha, Karin en Lianne. De KBE en de Meimaand-FMF maand zijn al voorbij tegen de tijd dat deze Perio\*diek uitkomt. Daar zou ik dus iets over kunnen schrijven. Helaas is het Orakel van Delphi niet helemaal in de buurt, dus kan ik geen voorspelling maken over hoe, ongetwijfeld gaaf, de activiteiten in de Meimaand gaan worden.

Ook de deadline om te solliciteren voor het FMF-bestuur zal waarschijnlijk al voorbij zijn. Ik had je dus kunnen vertellen hoe gaaf het is om FMF-bestuur te doen voor een jaartje, maar als je ondertussen nog niet hebt gesolliciteerd, heb je deze fantastische kans sowieso al gemist.

Dus laat ik je dan maar vertellen over één van de ervaringen die je opdoet als Commissaris-intern. Een geweldig voorrecht van de Intern is om bij meerdere vergaderingen van de verschillende commissies aanwezig te mogen zijn. Het is geweldig om te zien hoe de verschillende commissies allemaal te werk gaan. Hieronder enkele sprekende voorbeelden.

Tijdens de vergaderingen van de borrelcie is het altijd heel gezellig en wordt er, zoals het natuurlijk geacht wordt bij een borrelcie, flink geborreld. Iedereen die zijn AP'tjes niet uitvoert of zonder kennisgeving afwezig is krijgt een shotje Ketel 1 toegeschreven. De lustrumcommissie is dit jaar een gezellige combinatie van studenten uit verschillende jaren, wat gezorgd heeft voor een flinke verzameling aan leuke activiteiten voor volgend jaar november en december.



Maïke Jaspers, commissaris Intern der FMF.

De LEGAcie (Legendarische Eerstejaars Groeps-Activiteit commissie) werd dit jaar voor het eerst opgestart. Zij heeft als doel een activiteit voor FMF-leden en in november een activiteit voor de eerstejaars te organiseren. Bij deze commissie aanwezig zijn was echt een pretje, ze maakten een wonderschone begroting en planning. Goed werk waarbij deze eerstejaarscommissie zeker niet onderdoet voor een commissie met ouderejaars erin!

Een ervaring van een heel andere soort is het meemaken van een Perio\*diekweekend. Een weekend waarop de redactie het waagt om de dan uitgestorven Nijenborgh te betreden. In de NSFV wordt de muziek lekker hard gezet, ondertussen worden de stukjes eerst wat keren gerevied en daarna worden deze in de lay-out gezet. Alles gebeurt in een relaxte sfeer en omgeving. Wanneer we lekker bezig zijn wordt er 's avonds eten besteld en eten we dat gezellig samen op.

Zo, genoeg 'inside information'. Ik heb vooralsnog erg genoten van dit bestuursjaar en de commissies. Ik hoop dat de commissies evenveel hebben genoten! •



**PHILIPS**

# Trifle

DOOR INNE LEMSTRA

Trifle (spreekt uit als treiful) is echt één van mijn lievelingsgerechten. Het mooie van dit gerecht is dat het eenvoudig te maken is en dat het niet in de oven hoeft. Ook kun je het makkelijk opschalen voor grotere groepen. Trifle is dus een ideaal toetje voor visite. De trifle is een Engels toetje bestaande uit lagen cake, fruit, vla en slagroom.

Er zijn vele varianten van trifle, en met deze versie is veel variatie mogelijk. Aangezien bijna elk genoemd ingrediënt vervangen kan worden door iets anders, kun je er een leuke persoonlijke draai aan geven. De bereiding kan bijna niet fout gaan. Zolang je weet hoe je cake moet snijden en in het bezit bent van een koelkast moet het goed komen. Omdat het gerecht veel lagen cake bevat is het erg vullend. Zorg er bij het serveren voor dat je uit elke laag opschept.

## Ingrediënten

- 250 gram ongeklopte slagroom
- 1,5 boerencake
- 2 eetlepels suiker
- 1 pot jam
- 1 bak aardbeien
- 1 blik perziken
- 1 pak vanille vla
- *optioneel*: 1 chocoladereep

## Materiaal

- een glazen schaal
- een mixer
- een koelkast
- een mes en een snijplank
- een lepel

## Bereiding

1. Snijd de cake in dunne plakjes.
2. Snijd het fruit.
3. Bedek de schaal met een laag cake.
4. Bedek de laag met jam.
5. Bedek met een laag fruit.
6. Bedek met weer een laag cake.
7. Bedek met een laag slagroom.
8. Optioneel (maar zeer aan te raden): breek een chocoladereep in kleine stukjes en strooi deze door de slagroom.
9. Bedek met weer een laag cake.
10. Bedek met een laag vla.
11. Bedek met een laag cake.
12. Herhaal totdat de schaal vol is, sluit altijd af met een laag cake.
13. Plaats de trifle in de koelkast voor minimaal 1 uur, langer is beter (tot op zeker hoogte).

**Moeilijkheid:**



**Personen:**

5 - 7

**Bereidingstijd:**

20 - 30 min bereiding

1 uur in de koelkast





## Recept slagroom

Doe de ongeklopte slagroom in een kom. Mix dat met een mixer, begin op lage stand om spetters tegen te gaan. Zet de mixer op hoge stand en voeg al mixend de suiker toe: 2 eetlepels suiker per 250 gram slagroom. Proef of de slagroom naar smaak is, zo niet voeg meer suiker toe. Blijf mixen tot de slagroom dikker wordt, zet vervolgens de mixer op een lagere stand. De ideale dikte is bereikt als de slagroom niet meer beweegt als je de kom schuin houdt. Ga niet te lang door met mixen. Als je denkt dat de slagroom bijna goed is, kun je ook de mixer uit doen en handmatig met de mixer nog een paar keer de slagroom doorroeren. Laat de slagroom vervolgens minstens 15 minuten opstijven in de koelkast. Je doet er goed aan de kom af te dekken met vershoudfolie om nare koelkastbijsmaken te voorkomen •



## Tips en variatie

- Is zelf slagroomkloppen teveel werk? Dan kun je ook voorgedropte slagroom kopen. Slagroom uit een spuitbus is niet een goed idee, aangezien die erg snel inzakt.
- Probeer de jam eens te vervangen door jam met een andere smaak of door honing.
- Heb je niet genoeg ruimte voor al het fruit, druk wat fruit bij de slagroomlaag in. Proef al je ingrediënten en blijf tussendoor ook steeds alles proeven. Zo kom je niet voor verrassingen te staan. Snijd de plakjes cake dun, dan heb je ruimte voor meer lagen.
- Zorg dat je de cake op maat snijdt zodat je de hele laag bedekt.
- Varieer met het fruit dat je erin stopt. Het is het beste als het fruit zacht en zoet is, denk aan banaan, mandarijn of peer. Fruit in blik of pot is altijd redelijk zacht en dus prima te gebruiken.
- Experimenteer met andere smaken vla.
- Het maakt niet uit om de lagen cake af en toe aan te drukken voor extra ruimte. Bij de laatste laag, waar de vla onder zit, is echter af te raden te veel kracht te gebruiken.
- Gebruik een laag lange vingers in plaats van cake.
- Je kunt ook een schaal nemen die hoger is zodat de lagen meer naar voren komen.
- Er zijn trifleversies met alcohol die wellicht het proberen waard zijn.
- Het is goed mogelijk dat jouw trifle er echt niet uitziet. Dwing je gasten er echter toch toe het te proberen, het resultaat is namelijk overheerlijk.
- Chocoladereep breken? Laat hem in de verpakking en sla hem tegen het aanrecht.

## Referentie

- [1] Kidsweek junior.

# PhD in the United States

BY OKKE SCHRIJVERS

At some point, everyone has to deal with the reality of life after education. In 2011, about a year after I started my Masters in computer science, I had to deal with this issue for the second time. The first time did not work out so well: after my Bachelor degree from the Hanze University of Applied Sciences, I worked as a programmer in the video game industry for two years. During that time, the frustration of investing time in the company instead of my own development became too much and I rushed back to academic life.

**G**iven my bad experiences in industry and my newfound enthusiasm in the academic world, I figured I would try to stick around in academia a bit longer and decided to apply for PhD positions. With more than a year to go I had plenty of time to consider my options, and after everything

was said and done, I started my PhD in September of 2012. In this article, I would like to talk about two different aspects of this: first, I will discuss the structure of the PhD program at Stanford (which is representative of American programs) and my research in Algorithmic Game Theory. Understanding the dif-



Okke Schrijvers on the Stanford campus.

ferences between European and American programs can be a key difference in deciding which style would fit you best. Secondly, I would like to expand on the application process, which is quite different from the Dutch system. Good Dutch students are generally excellent candidates for PhD programs in the US and by demystifying the admissions process; I hope to put these students in a position to get into the right university.

Before expanding on my research in Algorithmic Game Theory (I promise to tell you what that means in a little bit) it is necessary to explain why I am doing research in this area: it was not what I had in mind when I applied for Stanford's PhD program. A key difference in doing a PhD in Europe, or doing one in the US, is that for the former you apply for a specific PhD position, whereas for the latter you apply to a program. This difference may seem subtle, but what it means is that a PhD in the US does not begin with a predetermined topic. Admissions are done department wide, and in case of Stanford Computer Science that means that, about 40 new PhD students are admitted to the department every year. Your first year is all about finding the right research area and advisor for the remaining years. Some students have a good idea of what they want to do, so they might align with an advisor within a couple of months. Others shop around for a bit, do some research with different people, and may end up in an area they did not know existed beforehand. That is what happened to me: when coming to Stanford I thought I wanted to do graphics research, but when I came across Algorithmic Game Theory I got so excited about this field that I ended up aligning with professor Tim Roughgarden.

So what is this "Algorithmic Game Theory" you keep talking about? Game theory is a branch of economics that deals with the interaction between different people (or organizations, companies and even countries), where each entity is self-interested. The goal of game theory is to come up with systems where self-

interested behaviour does not negatively influence the interaction. Let's look at a concrete example to see what this means in practice: let's say that I have a video game console that I no longer need (because I bought the latest one as soon as it came out) and I want to give it to someone else who would value it more than I do. I do not care about making any money, but I want to make sure that whomever I give the console to, will value it most out of all the people I have considered. One way to do this would be the following: I ask everyone I know how much money they would value the console at and I will give it to the person who values it the most. Can you see a problem with this approach? If people know that the person who names the highest number will receive the console at no charge, then they might as well name a very high number in the hopes of getting it. It turns out that in order to incentivize people to be truthful; I need to charge them money to account for the externality they impose on others (who will not get the console).

*"A PhD in the US  
does not begin with a  
predetermined topic."*

Computer Scientists are interested in the intersection between Game Theory and Computer Science (and have called this field Algorithmic Game Theory) for two reasons. Firstly, the advent of the internet has given rise to many situations where self-interested people interact. Game theory is needed to analyse this behaviour and propose mechanisms where this behaviour is not harmful: from the physical network that is maintained by ISPs, to BitTorrent file sharing, to user reviews on Yelp. A good understanding of self-interested behaviour is needed to make sure these systems work properly. Secondly, Computer Scientists bring the idea of "worst-case behaviour" and computability to the table. Economists typically analyse average-case behaviour, but guarantees on worst-case behaviour can yield much stronger claims. Moreover, some optimization problems cannot be solved exactly in polynomial time, so approximation algorithms are needed that take individual incentives into account. Algorithmic Game Theory is an exciting, young field (it was 'founded' in a seminal paper in 1999) with

many open challenges. My research in it is currently focused on incentives in online interactions. Take for instance the crowdsourcing platform Amazon Mechanical Turk, where workers do small tasks for a small payment (typically of a couple of cents). Workers are incentivized to join the platform and take on work, but how are they incentivized to do their work well? In order for crowdsourcing to be a viable means of getting work done, the incentives of workers need to be aligned with the incentives of work-requesters.

The opportunity to switch research topics is one thing that I have only now really come to appreciate. It can be hard to find the right project to work on for multiple years and this institutionalized way of finding it is one of the benefits of doing your PhD in the US. Another thing that I really enjoy is campus life. It is one thing to come to work every day, but it is a completely different experience to work on campus, live on campus, go to movies on campus, and even go to major sports events on campus. I really enjoy the sense of community it creates and with so many new students starting at the same time, (most departments only allow PhD students to start in September); there are plenty of opportunities to make new friends. While you have the option to live off-campus and treat it similarly to the way a European PhD student would treat his university, it is great that you have the choice to be a part of it all.

As you can tell, I am excited about my PhD career so far and many of my Dutch peers have shown interest in doing a PhD in the US, but few actually apply. Whenever I ask them why not, there are three answers that keep coming up: it will cost too much and I cannot afford it; it is too competitive and I will probably not get in and when I wanted to apply, the application deadline had already passed. The last one is due to lack of information, and hopefully by raising awareness through this article I can save you from this issue, but the first two are unnecessary limiting beliefs. While officially tuition would be prohibitively expensive, PhD students rarely end up paying any of it, particularly in the exact sciences. Whether it is through research assistantships, teaching assistantships or a

fellowship, no one has to pay to obtain their PhD. Moreover, while American universities can be very competitive, Dutch students are in a great position to apply: they have typically studied more than their American counterparts have (who usually only have a Bachelor degree) and face less of a language barrier than their international peers. Motivated Dutch students, who are well informed about the application process, are in an excellent position to get a PhD position at an American university.

The main pitfall in the American process is how much earlier the application deadline is, and how much applicants are required to provide. For programs that start in September, the deadline for application is typically in early December: a full 9 months earlier. On top of that, I would recommend students to start compiling their application packages a couple

*“I am excited about my PhD career so far!”*



Okke Schrijvers during a presentation about a PhD in the United States.

of months before that. Because it needs to include certified transcripts and degrees, a statement of purpose, at least three letters of recommendation, a resume, an English proficiency test, an American graduate school standardized test (the GRE), and any additional material that could improve your chances of getting in. Most universities receive many more applications from qualified students than they have space for (for example, Stanford Computer Science gets more than 800 applicants for about 40 positions), so you would need to apply to multiple schools, adding to the administrative complexity. The most important quality when universities decide to accept students is the ability to do research. You should therefore ask for letters of recommendation from professors who you have a personal relationship with and with whom you have done research. If you include the time to do this into the bigger picture, that means that you should start thinking about it roughly 18 months before you plan to start your PhD! For European PhD positions, you could start thinking about it during your final project; this is decidedly not the case if you want to go to the US.

I had no idea about this, but I was fortunate enough to have already done research with different professors, and that I considered the US in time to get through the application process unscathed. To raise awareness among Dutch students about this and to provide accurate information about the application process, I founded UCAN (University Connection America-the Netherlands). In December of 2013, I visited five Dutch universities to give talks about the subject and on my personal website; I have a 10-page document with in-depth information about the application process. Please feel free to consult the document for more information, and contact me if you found it useful or have questions that are not addressed in this. Doing a PhD in the US is a unique experience and I hope that my experiences can help other Dutch students with their American aspirations •

## About Okke Schrijvers

Okke is a second-year PhD student in computer science at Stanford University. He obtained his Bachelor's degree from Hanze University of Applied Sciences Groningen in 2008, and his Master's degree from Eindhoven University of Technology in 2012. At Stanford, he is a student member of the computer science PhD admissions committee, president of the Dutch@Stanford student association, and member of Stanford's debate team. With his position on the admissions committee, his experience as an applicant in 2012, and his network as the president of Dutch@Stanford, he wants to raise awareness and provide information about the application process of American universities for Dutch students.

## Contact information

Website: [www.okke.info](http://www.okke.info)  
E-mail: [okkes@cs.stanford.edu](mailto:okkes@cs.stanford.edu)



Okke Schrijvers during a presentation about a PhD in the United States.

# Stapelen tot op de nanometer

## *Een kijkje achter de schermen bij ASML*

DOOR PATRICK NEEFS (TU/E ALUMNI)

Recht vanuit zijn studie stapte Patrick Neefs aan boord bij ASML. In dit concern werken dagelijks zeventuizend mensen aan de zeer geavanceerde lithografiemachines voor de productie van computerchips. ASML levert zijn apparatuur aan alle grote chipproducenten ter wereld waaronder Intel en Samsung. Patrick houdt zich bezig met Overlay, oftewel hoe nauwkeurig de machine in staat is de functionele lagen op een chip te “stapelen”. Hoe is het zover gekomen? Wat doet Patrick precies en vooral hoe bevalt het?

Ik heb de afstudeerrichting Dynamics & Control gedaan in een bijzonder onderzoeksproject: het synchronisatiegedrag van zenuwcellen in netwerken. Dat behoeft wellicht wat uitleg. Hersenen en het lichaam zitten vol zenuwcellen. Die geven individueel stroompjes af, maar onder bepaalde condities ook in clusters (gesynchroniseerd). Bij de medische wetenschap bestaat het beeld dat synchronisatie van zenuwcellen gerelateerd kan zijn aan bepaalde ziektes zoals Alzheimer en epilepsie. Dat vraagt verder onderzoek. Een zenuwcel kun je beschrijven met niet-lineaire differentiaalvergelijkingen en dat is het raakvlak met mijn studie. Met deze vergelijkingen kun je zowel het gedrag van een enkele zenuwcel als dat van een netwerk simuleren. Een groot nadeel is echter dat dit erg tijdconsumerend wordt in grote netwerken. Een realtime experimentele opstelling biedt op dit punt uitkomst. Ik heb daartoe het wiskundig model omgezet naar een elektronisch equivalent. In totaal heb ik een netwerk van achttien printplaten gemaakt om het synchronisatiegedrag van zenuwcellen realtime te bestuderen. Daar kwamen leuke resultaten uit. Ik vond het bijzonder boeiend om theorie zo met de praktijkkant te kunnen verbinden.

### Solliciteren

In december 2009 ben ik afgestudeerd en net na de kerst ben ik gaan solliciteren. Een vriend raadde me aan mijn cv op Monsterboard te zetten. Dus dat heb ik gedaan. Al snel werd ik gebeld door Orion Enginee-

ring in Eindhoven, een bedrijf dat mensen detacheert bij ASML. Ze hadden maar liefst vier ASML-vacatures voor me. Uiteindelijk heb ik na gesprekken op een vijfde vacature gesolliciteerd, die had een mooie match met mijn cv en afstudeerproject. Ik zocht opnieuw zo’n koppeling tussen theorie en praktijk. ASML was enthousiast en nu werk ik hier.

### Een nano-flatgebouw

De machines van ASML zijn bijzonder geavanceerd. Zo is het bedrijf in staat om lijnen en afbeeldingen van slechts 20 nanometer te printen met de nieuwste generatie machines. Dat is te vergelijken met het printen van een complete roman van vijfhonderd pagina’s op één centimeter van een menselijk haar. De machines worden opgebouwd uit diverse modules met elk hun eigen vereisten. Naast de eisen die gelden voor een specifieke module, heeft de machine als geheel ook een aantal performance-eisen. Bijvoorbeeld voor Productivity zijn er eisen gesteld aan het aantal wafers (basismateriaal voor een chip) dat de machine per uur moet kunnen belichten, en voor Imaging zijn er eisen gesteld aan de resolutie van de lijntjes op de chip. Ik zit in team Overlay dat zich bezighoudt met de positioneringnauwkeurigheid van de verschillende lagen op een chip. Stel je wilt een flatgebouw neerzetten van dertig verdiepingen (vergelijkbaar met het aantal lagen waaruit een chip is opgebouwd) en in het midden van die flat moet een liftschaft komen. Dan moeten die verdiepingen met een bepaalde nauwkeurigheid op



elkaar staan. Dat doen we ook bij Overlay. De lagen op de chip moeten tenslotte contact kunnen maken. Waar bouwingenieurs werken met centimeters, daar werken wij met een nauwkeurigheid van enkele nanometers.

### Data-analyse

Team Overlay zit helemaal aan het eind van het productietraject. Als alle modules opgeleverd zijn, gaan wij testen draaien om te zien of alles naar behoren werkt en de gewenste Overlay-waarden worden gehaald. In het ideale geval is dat zo, maar negen van de tien keer moeten we nog wat aanpassen, afstellen of verbeteren. Ergens een kabel niet goed aangesloten, een onderdeel dat afwijkend gedrag vertoont, thermische effecten; er zijn veel factoren die de Overlay kunnen beïnvloeden. Wij halen de data uit de machine en gaan die analyseren. Dat doen we bijvoorbeeld met (zelfontwikkelde) modeleertechnieken en met patroonherkenning en het uitsplitsen van waarden. Uit de data herleiden wij waar de fout zit en dan gaan we met de betreffende groep aan de slag om het op te lossen.

### Groot en klein

Het werk en ASML als bedrijf bevallen me ontzettend goed. Voordat ik hier kwam had ik geen echte werker-

varing. Ik wilde eigenlijk wel bij een klein bedrijf werken waar je persoonlijk contact hebt en een informele sfeer. Maar ondanks dat ASML een ontzettend groot bedrijf is, vind ik dat juist ook hier terug. De baas zal me niet persoonlijk kennen, maar we hebben een eigen groep en draaien daarnaast in een aantal projectteams. Zodoende ken ik mijn collega's goed en heb ik bovendien de gelegenheid om veel nieuwe mensen te leren kennen. Het leuke van ASML is ook de flexibiliteit. Het werk moet natuurlijk op tijd af zijn, maar je kunt het veelal zelf indelen. Omdat ik in Breda woon, begin ik vaak vroeg en houd ik wat eerder op. Zo kan ik voor de files weg en op tijd thuis zijn.

### Toekomst

ASML is een prachtig bedrijf met een ontzettend grote uitdaging. Samen maken we de Wet van Moore waar - iedere 24 maanden verdubbelt de transistor capaciteit van een chip. Er zijn nog heel veel technologische uitdagingen bij ASML waar ik mijn ei in kwijt kan. Daarnaast zijn er genoeg ontwikkelingsmogelijkheden: op het technische vlak, richting projectmanagement of richting leidinggeven. Hoe de toekomst er precies uitziet, weet ik nog niet, maar voorlopig zit ik hier helemaal op mijn plek •

# Triangulating the darkness

BY KEIMPE NEVENZEEL

The negative gravity of dark energy makes our universe expand increasingly fast. As such, dark energy determines the future and fate of our universe. But despite its power, the true nature of this mysterious energy component is veiled in mystery. We know a lot more about the galaxies in the universe, as the light they emit reveals their secrets. All the galaxies in the universe form a web-like structure that permeates the cosmos. The detailed shape of this cosmic web might depend on the nature of dark energy. If this is the case, our knowledge of the cosmic web may shed light on dark energy.

## Cosmology: a tale of the dark side

“Far out in the uncharted backwaters of the unfashionable end of the Western Spiral Arm of the Galaxy lies a small unregarded yellow sun. Orbiting this, at a distance of roughly ninety-eight million miles, is an utterly insignificant little blue-green planet whose ape-descended life forms are so amazingly primitive they still think digital watches are a pretty neat idea.”, or so at least Adam Douglas described the position of Earth in the Milky Way. Put this way, our planet already sounds quite irrelevant, perhaps justified by the knowledge there are hundreds of billions of stars in our galaxy and there are good chances most of them have (several) planets. But even this description makes our planet, our sun and our entire galaxy seem inconceivably more important than they are. Our Galaxy is just another spiral galaxy somewhere in the outskirts of a galaxy cluster “Virgo”, in itself only a small part of the Virgo supercluster – one of the many superclusters in the visible part of our universe...

On these largest scales of the universe, if we represent every galaxy by a dot, these dots collectively form an intricate structure poetically called the cosmic web, as it visually resembles a spider’s web. Figure 1 shows an image of the cosmic web based on a large astronomical sky survey. It shows intricate structures throughout the universe: large filaments connecting enormous clusters and surrounding large, empty, voids.

Marvelous as the cosmic web may be, even more stunning is the realization that its visible components (like galaxies, gas, et cetera, all together called baryonic matter) represent only a fraction of the total energy content of the universe. On the universal stage, baryonic matter is just a side-actress lighting up the play but only marginally influencing the story. The main actors are the mysterious dark matter and dark energy, whose cosmic duet decides the future and fate of the universe. Although the details of these dark actors are shrouded in mystery, dark matter is the better known of the two. In general, dark matter arranges the ‘local’ affairs: it is the main constituent of the cosmic web and determines its structure and shape. Dark energy on the contrary strongly influences cosmic expansion and consequently decides the universe’s ultimate fate. But dark energy is thinly spread and thus its influence on the structure and shape of the cosmic web is marginal, if existent at all. Furthermore, the nature of dark energy remains completely obscure: many theories exist but most theories more closely resemble mathematical fiction than mathematical physics. If dark energy influences the structure and shape of the cosmic web it will leave a distinct imprint. Conversely, the detailed shape and structure of the cosmic web may shed some light on the mysterious nature of dark energy.





**FIGURE 1** The Cosmic Web as observed with the Sloan Digital Sky Survey. Every point is a complete galaxy containing hundreds of billions of stars. The fans of galaxies throughout the figure are the regions which have been observed so far; the black regions haven't been observed yet. The Milky Way is in the middle because we observe from there, not because it is the middle of the universe. [1]

### Topology: mathematically describing structure

So, to lift a tip of the veil shrouding dark energy, we need more information on the shape and structure of the cosmic web. The cosmic web is a 3D matter distribution. How can we extract information about its shape and relevant structural features? As an example, consider the slightly ominous looking

mountains of figure 2. With the misty clouds hiding most of the valleys, the mountain peaks feature prominently on the picture. With a bit of fantasy some of the mountains contain large hollow caves in which dragons live... Suppose the mountain landscape to be a holiday picture, how would you describe the landscape to friends and family back home? You would probably describe the whimsicality of the landscape, the central peak in the middle and the large peaks in



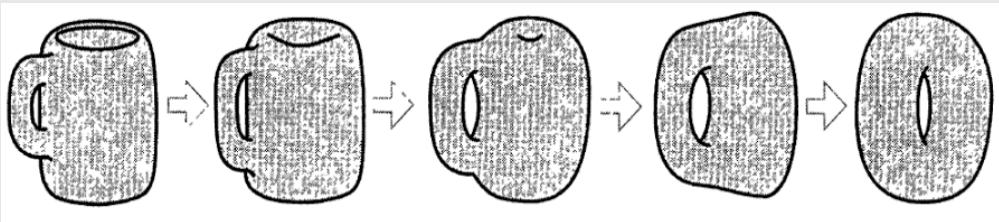
**FIGURE 2** Ominous mountain landscape. [2]

the background, just as some of the most prominent caves. If the clouds would hang a bit lower and some of the mountain passes or valleys would be revealed, you might have described some of these as well. The smaller peaks surrounding the central one are already less relevant. The irregular structure on the peaks themselves is hardly worth mentioning in detail. Not so important either are the exact locations of the peaks or their exact height. The last of which is even impossible to say, as the mountain roots are hidden deep beneath the cloud layer. What is true for the ominous mountains above is true for many scientific ‘mountain landscapes’ as well: to describe their structure, the exact location or height of features is not always very important. Rather, it is their shape, the type of feature (peaks, caves, valleys) and the amount of them that matter.

Unfortunately, analysis, the mathematical field nor-

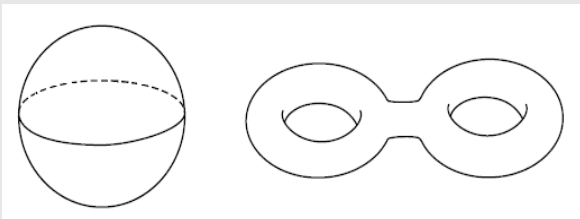
mally used, is very good at describing analytical properties like location or height but ill-equipped to describe shapes. The mathematical field of topology, more or less a generalization of geometry letting go of exact distance measures, is much more suited for the latter. Topology can (very roughly) be described as “rubber geometry”: two objects are topologically equivalent if they can be obtained from each other by continuous bending and stretching. Cutting or gluing, however, is not allowed. A famous example is the topological equivalence of a coffee mug and a donut, see figure 3. The objects in figure 4 are not topologically equivalent.

A topological object which still behaves nice enough for some calculus is called a manifold. An example of the previous is any surface of two variables embedded in 3D Euclidean space, e.g. the surface of the cosmic web embedded in the universe.



**FIGURE 3** A coffee cup is topologically equivalent to a donut, as the one can be obtained from the other via bending and stretching without cutting and gluing. [3]

**FIGURE 4** The objects here cannot be obtained from a donut without cutting or gluing. To obtain the sphere from a donut, we should cut the donut open along its inner ring and glue it together. To obtain the “pretzel” an extra hole should be added. [4]



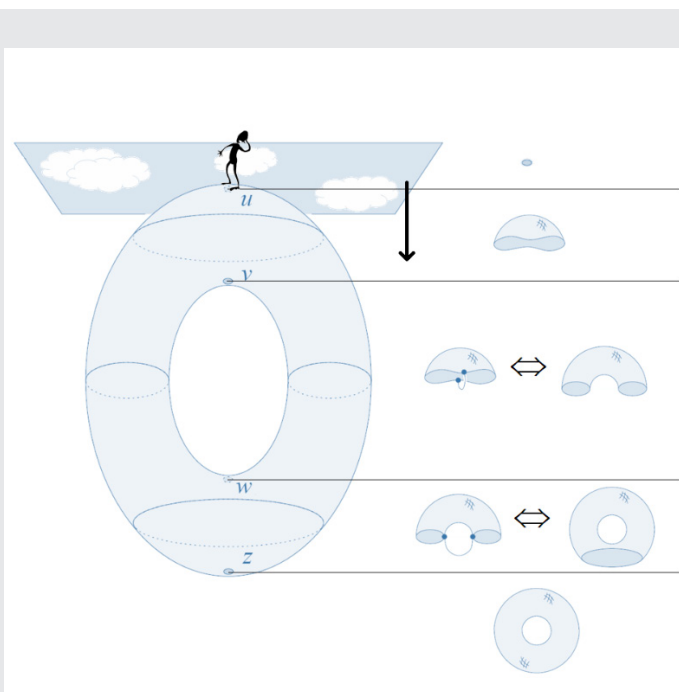
## Topology changes at critical points

An effective way to extract topological features is to consider how the topology of a manifold changes if we consider an increasingly large part of it. Consider the “ideal mathematical mountain” in the shape of a torus, as shown in figure 5.

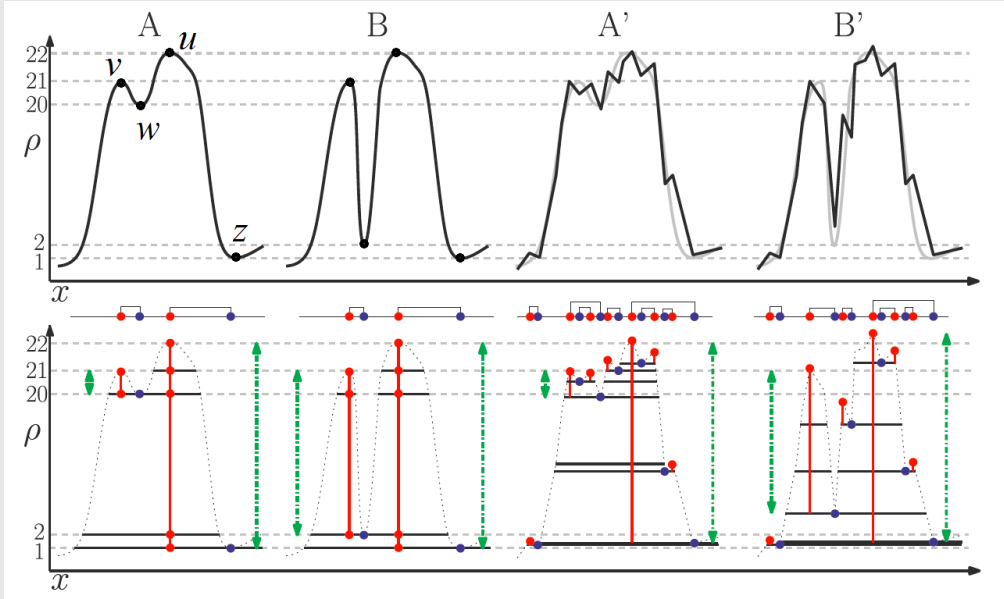
You are standing on the top of the mountain (point  $u$ ) with literally your head in the clouds. As the cloud layer descends, more and more of the torus is revealed. When the cloud layer is above point  $u$ , you cannot see anything of the torus (or even your own toes). When the cloud layer descends to somewhere between point  $u$  and  $v$ , the visible part of the torus resembles an (ever increasing) disc. As discs of any size are topologically equivalent (they can be obtained from each other via stretching), the visible part of the torus remains topology identical. This changes when the cloud layer descends below point  $v$ , as the resulting cylinder cannot be obtained from the disc without cutting or gluing. Further descending of the cloud layer doesn't change the topology of the visible part until point  $w$  is reached. The final change happens when the cloud layer drops below point  $z$  and the entire torus is revealed. We see that the points where the topology of the visible part changes are also the critical points of the torus. In topology the “part of the torus revealed by the descending cloud layer” is called a “descending level set”. Taken all together, we can conclude that the topology of a descending level set changes at the critical points.

## Topological feature extraction

By pairing the critical points in a smart way topological features can readily be extracted. To show how, we switch to a more realistic but 1D mountain landscape. We do so because a 1D example shows the basic idea whilst not having the technical complexity unavoidable in higher dimensions. Consider mountain A of figure 6. Clearly the mountain has two features: the mountain itself and the small sub-peak on the left.



**FIGURE 5** Idealized torus mountain. You stand at the top and look down. When the clouds descent gradually more and more of the torus is revealed. When passing a critical point of the torus, the topology of the visible part of the torus changes. [5]

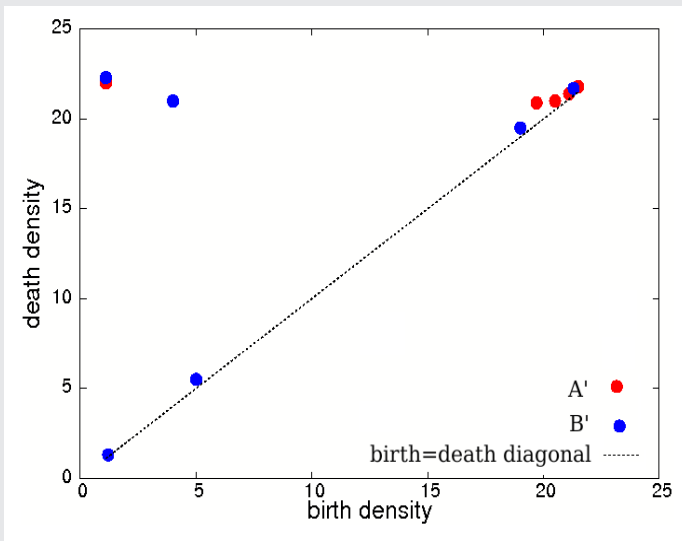


**FIGURE 6** 1D mountains (top) and their paired critical values (bottom). Maxima are paired with minima via the rule “last in first out” and such pairs show features of the mountain. The density difference between paired values is called the persistence of the feature and is a measure for its relevance.[6]

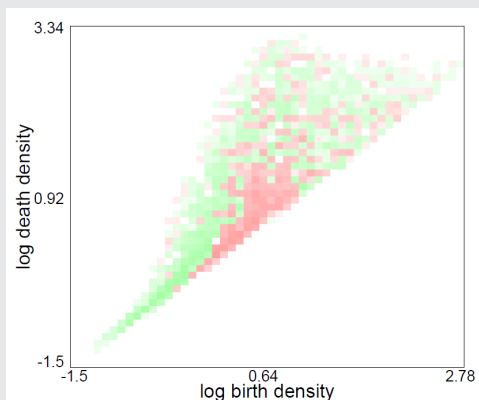
Let’s see how we can connect the critical points to obtain this information automatically. There are four critical points, two maxima ( $u$  and  $v$ ) and two minima ( $w$  and  $z$ ). If we consider a descending level set of the mountain, the points enter the level set in the order  $u, v, w$  and  $z$ . If we pair every minimum with a maximum via the rule “last in first out”  $v$  is connect with  $w$  and  $u$  with  $z$ . We see that the two features of the mountain are readily discovered. As you can see from

mountain  $A'$  (or  $B'$ ), the same holds for more ominous (or noisy) mountains.

Mountains  $A'$  and  $B'$  show a lot of small (or noisy) features, which aren’t really relevant for an overall view of the mountain. The height difference of minimum-maximum pairs is called the persistence of a feature. Persistence is a nice measure for feature relevance: small insignificant features have small persistence



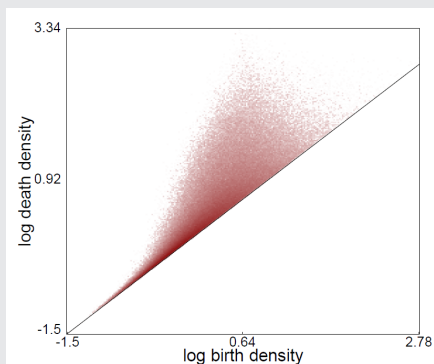
**FIGURE 7** The persistence diagram for the mountains  $A'$  and  $B'$  of figure 6. Each point corresponds with a min-max (or birth-death) pair, i.e. a feature of the mountain. A larger orthogonal distance from the diagonal line indicates a larger persistence and thus a more relevant feature.



**FIGURE 9** The difference between two persistence diagrams, with green indicating higher values of LCDM and red of SUGRA. LCDM is the classical cosmological constant model for dark energy, SUGRA is a quintessence model. Note: to consider the difference between two persistence diagrams (point sets), both diagrams were first transformed to 2D histograms. The intensity of the color of each square bin in the histogram indicates the amount of points which fell in the bin.

whereas major components have large persistence. The green arrows in figure 6 show the persistence of the main features.

Persistence can be illustrated visually in a persistence diagram, as shown in figure 7. For each min-max pair, such a diagram has the minimum (or birth) value on the horizontal axis and the maximum (or death) value on the vertical axis. Each feature is a point on the diagram. As the maximum value of any min-max pair is always higher than its minimum value, the lower right part of the diagram is empty. The diagonal indicates the “birth = death line” and the orthogonal distance from the diagonal to each point relates to the persistence of that point. If you only want to consider the main features of a density field, simply consider only points past a minimum orthogonal distance from the diagonal.



**FIGURE 8** The persistence diagram of the cosmic web structure in a model universe. We look at the structure today (redshift 0). The model universe assumes the standard LCDM dark energy model and contains  $256^3$  galaxies.

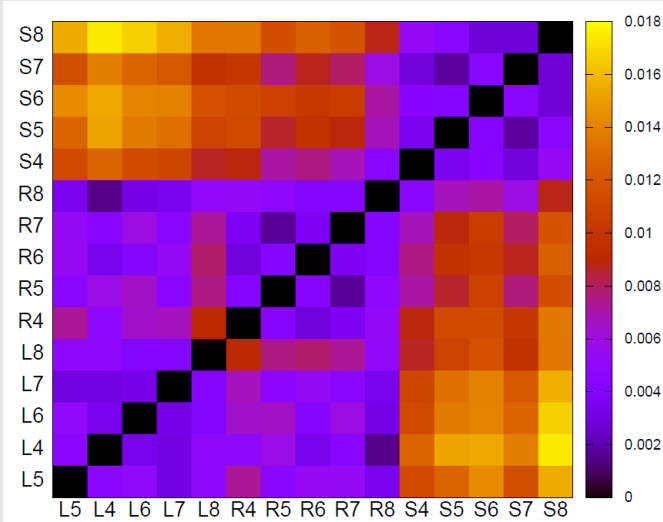
## Topological dark energy differentiation

Large cosmological density fields contain millions of features and their persistence diagrams thus contain millions of points. An example of a persistence diagram of a realistic cosmological density field is shown in figure 8.

By construction, the form and shape of persistence diagrams depends completely on the shape and structure of the underlying density field. If simulated universes with different dark energy models give rise to a different structure of the cosmic web, this will result in differences between their persistence diagrams. Figure 9 shows the difference between persistence diagrams of two dark energy models. The pronounced difference suggests that the type of dark energy model influences the structure of the cosmic web.

Do the differences shown in figure 9 indicate real differences between the structure of the cosmic web? And are the differences between the dark energy models

Interestingly, the statistical significant difference between the structure of various dark energy models doesn't mean that the structure is intrinsically different. As dark energy influences the rate of cosmic expansion, it also influences the rate of structure evolution. In some models, structure evolves much faster than in other models. Further investigation revealed that the persistence diagrams of the various dark energy models analyzed at the same stage of structure evolution are analogous.



**FIGURE 10** Kolmogorov-Smirnov test statistic results of the hypothesis that the persistence diagrams of the cosmic structure of two simulations are analogous. The following dark energy models were tested: LCDM, RP and SUGRA. LCDM is the classical cosmological constant for dark energy, RP and SUGRA two different quintessence models. For each dark energy model, five simulations were performed, labelled L4, L5, ... L8 for the LCDM simulations and analogously for RP and SUGRA. The test statistic results show next to no statistical significant differences between the simulations using the same dark energy model. Comparison of LCDM and SUGRA simulations shows significant differences, see the left top or bottom right corner. Differences between RP and the other two models are more limited.

much larger than the differences between various simulations of the same model? To answer these questions, for each of three commonly used dark energy models five simulations were performed. Each simulation of the same dark energy model has different initial conditions. The persistence diagrams of the resulting cosmic structure are computed and compared at the same redshift, since in cosmology time is measured in terms of redshift. Their differences are analyzed using a non-parametric Kolmogorov-Smirnov test. As is shown in figure 10, the cosmic structure varies in a statistically significant way!

Thus, in principle the structure and shape of the cosmic web can be used to rule out dark energy models! This discovery paves the way to use observations of the structure of the cosmic web of our real universe to shed some light on dark energy... Furthermore (and perhaps more importantly) it shows that mathematical topology is a powerful tool in exploring the cosmos •

## Acknowledgements

I'm indebted to prof. dr. Rien van de Weygaert of the Kapteyn Astronomical Institute for his superb supervising of my research project. This project would not have been possible without the support of Patrick Bos (universe simulations), Pratyush Pranav (topological code), Marius Cautun (dtfe), everyone in the Kapteyn 134 student room, the Kapteyn computer group and many others.

## Referenties

- [1] <http://astro.uchicago.edu/cosmos/projects/sloangalaxies>
- [2] <http://rich35211.deviantart.com/art/Mountain-Clouds-111850023>
- [3] C. Adams and R. Franzosa. 2009, Introduction to topology, pure and applied, Pearson Prentice Hall.
- [4] P. Giblin, 2010, Graphs, surfaces and homology 3th edition, Cambridge University Press.
- [5] H. Edelsbrunner and J.L. Harer, 2010, Computational Topology, an introduction, American Mathematical Society [adapted].
- [6] T. Sousbie, 2011, the persistent cosmic web and its filamentary structure – I. theory and implementation, MNRAS 414:350 – 383.

# Do, e, pi

## *De wiskunde achter de muziektheorie*

DOOR THOMAS TEN CATE

Waarom bestaat ons toonsysteem uit twaalf tonen? Waarom heeft een piano witte en zwarte toetsen? Waarom vinden sommige mensen dat een piano “verkeerd” klinkt? Ons muzieksysteem blijkt gebouwd te zijn op heel simpele natuurkunde, gecombineerd met wiskundige toevalligheden en creatieve afrondingen.

### Frequenties

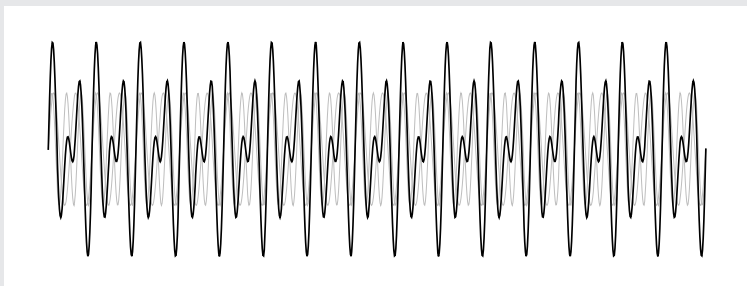
Zoals je natuurlijk weet, bestaat geluid uit golven. Een golf heeft een frequentie, uitgedrukt in trillingen per seconde, oftewel hertz (Hz). Maar de meeste geluiden bestaan niet uit één zuivere frequentie; ze zijn een rommelige mengeling van verschillende frequenties, die ook nog eens kunnen variëren over de tijd. Hoe kunnen we dan aan een geluid, bijvoorbeeld de toon van een viool, een frequentie toeschrijven?

Gelukkig hebben zulke klanken altijd een laagste frequentie, die we de *grondtoon* noemen. Dit is ook de toon die je oor waarneemt als de “toonhoogte”. Het verschil in klank tussen verschillende instrumenten wordt veroorzaakt door de verscheidene *boventonen* en de relatieve luidheid daarvan (alsmede het verval over de tijd). Hierdoor kunnen we op het gehoor zeggen: dit is een viool, dit is een ukelele en dit is iemand die “ooo” zingt. Muziektheorie werkt voor alle instru-

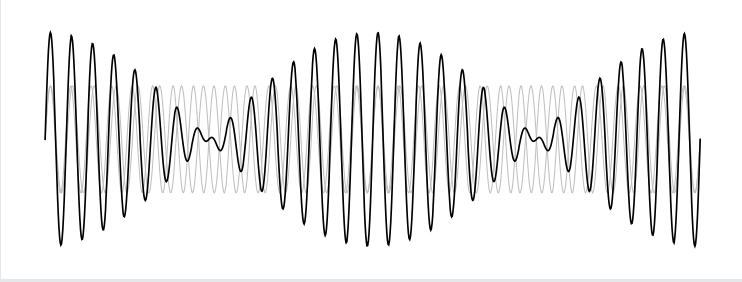
menten hetzelfde, dus kunnen we ons concentreren op de grondtoon en doen alsof elke noot slechts één frequentie heeft, een zuivere sinusgolf.

### Intervallen

De meeste mensen kunnen geen absolute toonhoogtes onderscheiden; zonder referentiepunt klinkt 440 Hz dus tot op zekere hoogte “hetzelfde” als 480 Hz. Het is dus interessant om te gaan kijken naar *verhoudingen* tussen toonhoogtes. Het verschil tussen twee toonhoogtes noemen we een *interval*. Pythagoras (die niet alleen maar aan driehoeken werkte) hield zich hier al mee bezig. Hij wist dat een interval “goed” oftewel *consonant* klinkt als de frequenties zich verhouden als een eenvoudige breuk, zoals 2:1, 3:2 of 5:4. Dit is de fundamentele regel waarop alle stemmingen gebaseerd zijn. Bij verhoudingen met grotere getallen, zoals 589:372, ontstaan (door interferentie van boventonen) ongewenste zwevingen, en daarom noemen we deze intervallen *dissonant* of simpelweg *vals* (hoewel deze benaming subjectief en cultureel bepaald is). We kunnen de golven in een grafiek weergeven; in figuur 1 bijvoorbeeld 3:2, onder muzikanten bekend als de *reine kwint* en in figuur 2 16:15, de *kleine secunde*.



FIGUUR 1 3:2, de reine kwint.



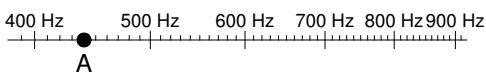
FIGUUR 2 16:15, de kleine secunde.

## “We beginnen met één toon, volledig willekeurig, 440 Hz”

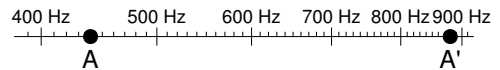
Omdat de frequenties hier dicht bij elkaar liggen ontstaat er een *zweving*, die je waarneemt als een storende wisseling in amplitude. In het algemeen komt dat niet alleen voor tussen grondtonen, maar ook tussen boventonen, waardoor zulke intervallen minder aangenaam klinken.

### Het construeren van een stemming

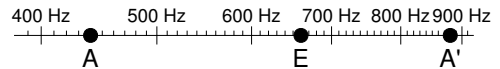
Op sommige muziekinstrumenten, zoals de viool en de trombone, en ook op je stembanden, kun je binnen een bepaald bereik iedere gewenste frequentie spelen. Meestal ben je echter beperkt tot een eindige verzameling snaren, fretten, gaatjes of klepjes. Dan is het dus handig om je instrument zó te bouwen dat je er zo veel mogelijk “mooie” intervallen op kunt spelen. Laten we eens zo’n stemming construeren. Omdat het gaat om verhoudingen en niet om frequenties in Hz, ligt het voor de hand om onze stemming te tekenen op een logaritmische getallenlijn. Gelijke afstanden op de getallenlijn zijn dan gelijke intervallen. We beginnen met één toon, volledig willekeurig, 440 Hz. Deze noemen we, opnieuw geheel willekeurig, de A.



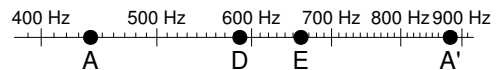
Maar tenzij je Tenacious D bent, kun je van één noot geen liedje maken. Laten we daarom nog een noot toevoegen, met het simpelst mogelijke interval, 2:1, het *octaaf*. De volgende toon wordt dus tweemaal zo hoog, 880 Hz, genaamd A'.



Het octaaf mag dan het meest consonante interval zijn, maar het klinkt wel oersaai. De eerstvolgende simpele breuk is 3:1, maar die valt buiten onze getallenlijn. Laten we het interessanter maken door de reine kwint toe te voegen, 3:2 ten opzichte van de A. We noemen deze toon E.



Dat begint al ergens op te lijken. De teller 3 is nu uitgeput, dus gaan we verder met 4. 4:1 is gewoon twee octaven, 4:2 is hetzelfde als 2:1, maar 4:3 is wel interessant. Dit interval noemt men de *reine kwart* en we noemen de nieuwe noot D.



Nu gebeurt er iets interessants. Breuken kunnen we immers met elkaar vermenigvuldigen en omdat we op een logaritmische schaal werken gedraagt zich dit als optellen. Nemen we de kwint 3:2, en de kwart 4:3, dan is het product precies 2:1, oftewel het octaaf. Eigenlijk hadden we dus al een kwart in onze stem-



ming, namelijk het interval E-A'. Andersom, door het toevoegen van de D hebben we ook een kwint gratis gekregen, namelijk D-A'. Dit is waarom men de kwint en de kwart elkaars *inverse* noemt. En hoe zit het met D-E? Dat is  $(3:2) : (4:3) = 9:8$ , de *reine secunde*. Ook niet gek! Wat we tot nu toe hebben geconstrueerd heet een *reine stemming*: alle intervallen zijn precies mooie breuken. Maar als we op deze manier doorgaan met toonhoogtes toevoegen, krijgen we er voor elk consonant interval ook een hele hoop dissonante intervallen bij. Hoe meer toonhoogtes je toevoegt, hoe meer interessante muziek je kunt componeren, maar al snel wordt je stemming een mijnenveld van dissonanten. Bovendien zullen soms twee toonhoogtes vlak naast elkaar terecht komen en dan is het handig om één ervan weg te laten. Of er ergens tussenin te gaan zitten, in de hoop dat kleine afwijkingen de luisteraar niet opvallen. Op die manier kun je allerlei verschillende stemmings krijgen en elke stemming maakt verschillende compromissen.

## Het twaalftonige systeem

Veel stemmings hebben gemeen dat ze bestaan uit twaalf tonen in het octaaf. Deze worden dan aangeduid met de gebruikelijke namen A, A#/B<sup>b</sup>, B, C, C#/D<sup>b</sup>, D, D#/E<sup>b</sup>, E, F, F#/G<sup>b</sup>, G, G#/A<sup>b</sup>. Maar waarom nou twaalf? Het blijkt dat als je doorgaat met toonhoogtes toevoegen met een 3:2 verhouding en af en toe een octaaf "wegdeelt" om binnen het huidige octaaf te blijven, dat je na 12 stappen vrij dicht in de buurt komt van je grondtoon. Immers,  $(3:2)^{12} = 531441:4096$  en dat is bijna 128:1, oftewel 7 octaven. *Bijna* is hier relatief; het moge duidelijk zijn dat een afwijking van meer dan 1% duidelijk hoorbaar is en dat is ook meteen de Achilleshiel van deze zogenaamde *Pythagoreïsche stemming*. Latere stemmings lossen dit probleem op door de afwijking op verschillende manieren te verdelen over de rest van de intervallen, het liefst zodanig dat ook de vrij hopeloze tert met een verhouding van 81:64 wordt vervangen door iets beters, zoals 5:4. Het is mogelijk om systemen op te zetten met meer of minder dan twaalf tonen; zo zijn vijftonige systemen gebruikelijk in oosterse muziek

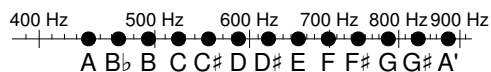
en werd een 31-tonig systeem ontdekt door niemand minder dan Christiaan Huygens. Maar het toeval wil dat twaalf het kleinste aantal tonen is waarmee we de belangrijkste intervallen behoorlijk goed kunnen benaderen.

## De gelijkzwevende stemming

Niet alleen kom je na twaalf stappen van 3:2 bijna uit waar je begonnen bent, maar ook zijn je stappen (modulo 2, oftewel het octaaf) ongeveer gelijkmatig verdeeld.



Maar als er dan toch gesjoemeld moet worden om alles te laten passen, waarom zouden we dan deze stappen niet precies gelijk trekken? Deze gedachte ligt ten grondslag aan de *gelijkzwevende stemming* (*equal temperament*). In deze stemming is elke afstand tussen twee opeenvolgende halve noten precies hetzelfde interval. Omdat het product van 12 van zulke intervallen precies een factor 2 moet vormen, moet het interval tussen twee opeenvolgende halve noten gelijk zijn aan  $2^{1/12} \approx 1,0595$ . Hiermee ligt dan de hele stemming vast.



Het grote voordeel van een gelijkzwevende stemming is dat we onze hele compositie hoger of lager kunnen spelen, zonder dat de intervallen daarin veranderen; ook tijdens een muziekstuk kunnen we naar willekeur van toonsoort veranderen. Het nadeel is natuurlijk dat intervallen in plaats van breuken nu *belemaal* geen rationale getallen meer zijn! Laten we eens kijken wat dat van onze mooie reine intervallen heeft overgelaten. Het octaaf is nog steeds het octaaf, precies 2:1, tot zover niets aan de hand. De kwint, 3:2, kunnen we het best benaderen met 7 halve noten, oftewel  $2^{7/12} \approx 1,4983$ , iets te laag ten opzichte van de 1,5

die we graag zouden willen. De kwart wordt als inverse van de kwint natuurlijk evenredig hoger:  $2^{5/12} \approx 1,3348$  in plaats van 1,333... De tert wordt  $2^{4/12} \approx 1,2599$  in plaats van precies 1,25 (maar altijd nog beter dan de Pythagoreïsche tert van 1,2656). Geen enkel interval behalve het octaaf is nog rein; eigenlijk klopt er geen barst van dit systeem! Dit is de prijs die we betalen voor het eenvoudig kunnen transponeren van een muziekstuk naar elke gewenste toonhoogte. Dit systeem wordt gebruikt voor piano's en gitaren, maar veel andere instrumenten (vooral blaasinstrumenten) gebruiken andere stemmingen, die in meer of mindere mate rein zijn.

### Zwart en wit

Tot nu toe hebben we alle twaalf tonen gelijkwaardig behandeld. Maar de benaming en notatie van de

*“Geen enkel interval behalve het octaaf is nog rein; eigenlijk klopt er geen barst van dit systeem!”*

noten doet dat niet en ook een piano discrimineert tussen witte en zwarte toetsen. Waar komt nu dit verschil vandaan? De zeven “witte” stamtonen A, B,

C, D, E, F, G vormen samen de *diatonische toonladder*. Deze zeven tonen zijn de eerste die je tegenkomt als je telkens een kwint (3:2) omhoog gaat vanaf de grondtoon C, dus alle mooiste intervallen zijn daarin al bevat. De overige vijf tonen zijn om het plaatje compleet te maken. Die heb je alleen nodig als je mooie intervallen wilt construeren vanaf een toon die niet de grondtoon is.

### Tot slot

Er is door de millennia heen over de hele wereld ontzettend veel geëxperimenteerd met muziek en wat we anno 2014 in de westerse wereld spelen en luisteren beslaat maar een fractie van de mogelijkheden. Wat

te denken van bijvoorbeeld de noot H, die je in Duitsland vindt tussen de A en de C? Van de 53-tonige gelijkzwevende stemming, reeds gedocumenteerd door de oude Chinezen? Van Arabische muziek, die gebruik maakt van een toonladder met 24 tonen? Of van de Indonesische gamelan, waarbij elk ensemble er zijn eigen stemming op nahoudt? Maar zowel binnen als buiten onze westerse tunnelvisie geldt: wat voor de een klinkt als valse herrie, klinkt de ander als muziek in de oren •





Jouw persoonlijke ontwikkeling staat centraal bij Talent&Pro.



*“Bij Talent&Pro krijg ik de kans om mezelf continu te verbeteren.”*

*Mitchel Bouwmeester, Talent*

## Werken met cijfers: dát is wat je leuk vindt!

Formules uitpluizen en berekeningen maken. Je kunt met jouw bèta-achtergrond als onderzoeker of docent aan de slag, maar met jouw probleemoplossend vermogen kom je ook als geroepen voor de financiële sector.

Als actueel specialist van Talent&Pro los je complexe vraagstukken op voor grote financiële instellingen, zoals ASR, ABP of SNS Reaal. Je werkzaamheden variëren van het bepalen van premietarieven tot het analyseren van risico's.

Zo ontwikkel je jezelf snel van Talent tot Professional. De functie van actuaaris is niet voor niets al 4 jaar op rij tot 'beste baan van Nederland' gekozen door Elsevier en SEO Economisch Onderzoek!

Kies ook voor een goed begin van je carrière! Bekijk onze vacatures op [talent-pro.com](https://talent-pro.com) en solliciteer.

**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.

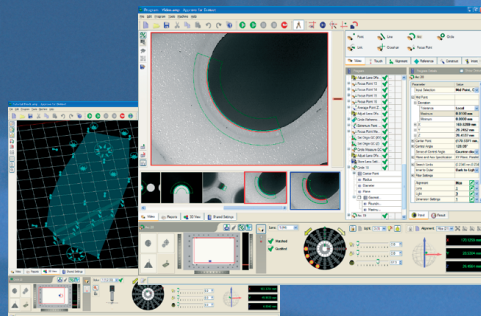
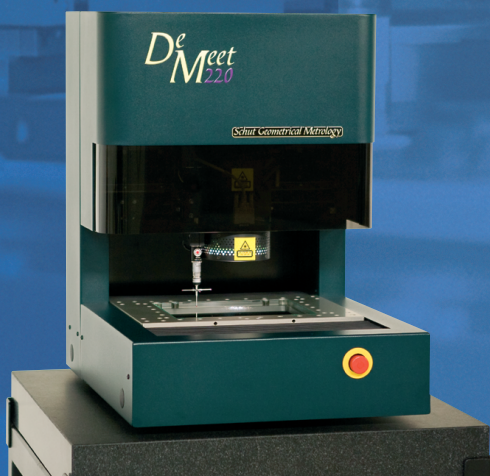
Aangezien we onze activiteiten uitbreiden, zijn we continu op zoek naar enthousiaste medewerkers om ons team te versterken. Als jij wilt werken in een bedrijf dat mensen met ideeën en initiatief waardeert, dan is Schut Geometrische Meettechniek de plaats. De bedrijfsstructuur is overzichtelijk en de sfeer is informeel met een "no nonsense" karakter.

Op onze afdelingen voor de 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**.

Er zijn bij ons ook mogelijkheden voor een technisch interessant **stage-** of **afstudeerproject**. Dit kan in overleg met de docent worden afgestemd.

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

Voor meer informatie kijk op [www.Schut.com](http://www.Schut.com) en [Vacatures.Schut.com](http://Vacatures.Schut.com), of stuur een e-mail naar [Sollicitatie@Schut.com](mailto:Sollicitatie@Schut.com).



**APPROVE**  
for De Meet

