

Een wiskundig genie zoals er geen tweede is, dat is Terence Tao. Hij onderzoekt even makkelijk de theorie van priemgetallen als die van Fourier-analyses.

Margriet van der Heijden

EEN SPIJKERBROEK, grote witte gympen en een gestreept shirt. Wie toevallig binnen zou lopen, zou gemakkelijk kunnen denken dat de frêle figuur voor het schoolbord in het Leidse Gorlaeuslaboratorium een student was, of een promovendus misschien. Maar daarvoor drinkt de volle zaal net iets te eerbiedig zijn woorden op. De man met het jonge gezicht, prof. dr. Terence Tao van de University of California in Los Angeles, is dan ook een veel gelauwerd wiskundige. Vorig jaar ontving de 31-jarige Tao zelfs de hoogste onderscheiding die er in zijn vak te halen valt: de Fields-medaille, ook wel de Nobelprijs van de wiskunde genoemd.

Deze week is Tao in Nederland om samen met zijn collega, de al even jonge Britse mathematicus Ben Green, de Ostrowski-prijs in ontvangst te nemen. Die tweejaarlijkse prijs ter nagedachtenis van de wiskundige Alexander Ostrowski (1893-1986) wordt om en om uitgereikt in Zwitserland, Denemarken, Israël, België en Nederland. De uitreiking, in Leiden, valt samen met het jaarlijkse mathematisch congres van het Koninklijk Wiskundig Genootschap, en het lokale ontvangstcomité is danig onder de indruk van prof. dr. Tao's komst. "Weet je wat het is", zegt het Nederlands jurylid van de Ostrowskiprijs, de Leidse hoogleraar Rob Tijdeman, op samenzweerderige toon, terwijl Tao op de foto gaat, "in de wiskunde zijn de kwaliteitsverschillen zo groot, en zo zichtbaar. Dat zie je toch gelooft ik nergens anders."

Tao en Green krijgen de Ostrowskiprijs vanwege hun werk aan priemgetallen (zie kader 'Rijen in de priem'), maar Tao's werk beslaat veel meer deelgebieden van de wiskunde. De superioriteit waarmee hij zich binnen de kortste keren nieuwe gebieden van de wiskunde eigen maakt, verbaast zijn collega's. "Alsof een Britse schrijver zomaar ineens de ultieme Russische roman schrijft", zo wordt dat wel gekarakteriseerd. Vanwege het gemak waarmee Tao zich door de wiskunde beweegt én omdat zijn genie al vroeg aan het licht kwam, wordt hij bovendien de 'Mozart van de wiskunde' genoemd.

Maar Tao is óók een wiskundige 'nieuwe stijl', die als kind met getallen kennismakte via Sesamstraat, die liever samen dan in afzondering werkt, die ideeën krijgt als hij zijn zoonnetje van de peuterspeelzaal ophaalt en die met de buitenwereld communiceert via een weblog. En die, ondanks een behoudzame omgang met de pers, gelukkig toch een interview geeft aan deze krant.

SCHOONHEID We beginnen het gesprek met Tao's laatste weblog. Die gaat over de beroemde violist Josh Bell, die onlangs op zijn Stradivarius in een meastrostatie speelde, en daar door de gehaaste voorbijgangers amper werd opgemerkt. Waarom juist dit onderwerp gekozen? "Ik las erover in *The Washington Post*. Het stuk was goed geschreven", zegt Tao aarzelend. "En het stemde me een beetje droevig." Droevig, omdat mensen zoveel van wat om hen heen gebeurt missen: ze hebben het te druk, of ze herkennen de kwaliteit niet. "En nee, je kunt de lijn niet zomaar

DE WISKUNDE STREEFT ELEGANTIE NA, MAAR NIET IEDEREEN HERKENT DIE

De Mozart van de wiskunde

doortrekken, maar er is ook verschrikkelijk mooie wiskunde—die je pas kunt waarderen na veel scholing. En daar denken de meeste mensen al helemaal voor terug."

Het ligt voor de hand te veronderstellen dat Tao zelf de schoonheid van de wiskunde al vroeg onderkende. Toen hij nog net geen twee jaar was merkten zijn vader, een kinderarts, en zijn moeder, een wis- en natuurkundige, bij toeval dat hun zoon al woordjes kon lezen en sommige kon maken. Waarschijnlijk dankzij Sesamstraat, aldus zijn vader die Tao's opvoeding in 1985 in een lang artikel beschreef. Daarin valt ook te lezen hoe het jongetje zich vooral op het terrein van die getallen razendsnel ont-

wikkelde. Op zijn zesde schreef Tao zijn eerste computerprogramma's in Basic. Toen hij acht was volgde zijn eerste publicatie, over een programma om zogeheten volmaakte getallen te berekenen, en vlak daarna slaagde hij ook voor de toelatingsexamen voor een universitaire studie wiskunde. "Maar het grappige is: als kind hield ik om heel andere redenen van wiskunde dan ik nu doe. Ik hield van patronen en ik vond het prettig dat er heldere regels waren en dat je altijd wist wanneer iets goed of fout was. Ik hield van die orde. Mijn slechtste vak op school was Engels waarin juist open vragen werden gesteld. Zoals: schrijf een opstel over een zelf gekozen onderwerp. Sommige mensen zijn daar goed in, maar ik wilde graag precieze aanwijzingen hebben." Het beeld dat hij destijds van een wiskundige had, paste daarbij. "Als kind dacht ik dat wiskundige zijn betekende dat mensen je puzzels gaven om op te lossen. Pas toen ik ging promoveren ontdekte ik dat je zelf problemen moet bedenken. En dat die problemen hun waarde aan zichzelf ontleen en niet aan het feit dat iemand ze aan je geeft. En ik ontdekte ook dat al die getallen en vergelijkingen echt iets beschreven. Het ontwerp van de circuits in jouw opnameapparaat bijvoorbeeld, die ruis weg filteren zodat de stemmen over blijven: dat is een wiskundig probleem dat ruim dertig jaar geleden is opgelost. Maar ik had me al die jaren niet gerealiseerd dat wiskunde niet zomaar een spelletje is, maar dat je het ook kan gebruiken."

SCHOK Op zijn zestiende begon Tao aan zijn promotieonderzoek. Het betekende dat hij moest emigreren: van zijn geboorteplaats Adelaide in Australië naar het prestigieuze Princeton Instituut voor Advanced Studies in de Verenigde Staten. Zijn vader kwam de eerste drie weken mee om hem 'een paar basale zaken' te leren. "Zoals hoe je een bankrekening opent en hoe je de was doet. Maar goed, dat moet iedereen leren", zegt hij schouderophalend. Het belangrijkste verschil zat erin dat niet langer sprake was van huiswerk en examens. In Princeton werd van de promovendi verwacht dat ze zelfstandig studeerden — en Tao was verrast hoe

• Terence Tao, nu wel in pak vanwege de prijsuitreiking, in Leiden.
FOTO FREDDY RIKKEN



Terence Tao

'Het is vooral hard werken'

hard ze moesten werken. Drie weken van te voren in de boeken duiken bleek onvoldoende voorbereiding op het mondelinge voortgangsexamen halverwege het promotieonderzoek, en dat was een schok. "Het maakte me duidelijk hoeveel ik nog moest leren." Anders geformuleerd: "Als je aan een promotieonderzoek begint denk je dat je alles weet, en als je klaar bent, denk je dat je niets weet." Het maakt bescheiden, zegt Tao. "En dat doet de wiskunde steeds. Er zijn zo ontzettend veel pro-

blemen die niemand kan oplossen, hoe slim sommige wiskundigen ook zijn." Er is ook geen weg of leerroute aan te geven die het vinden van oplossingen garandeert. "Het is een kwestie van jaren en jaren hard werken, van geduld en van een beetje intelligentie, maar dat is niet eens het belangrijkste." Is talent dan een belangrijke voorwaarde? "Ja en nee", vindt Tao. "Het is zoals in de muziek. Je kunt een geweldig talent hebben, maar iemand met een gemiddeld talent die tien jaar lang dag in dag uit keihard oefent kan toch net zo ver, of verder komen."

BANG Tao's vader is wel eens bang geweest dat zijn zoon, ondanks zijn talent, de wetenschap de rug zou toekeren. Juist daarom probeerden hij en zijn vrouw, zo schreef hij in 1985, om de jongen niet op te jagen, maar om hem een brede opleiding te geven. Ook al omdat zij dachten dat, voor wie echt de top wil bereiken, een brede basis belangrijker is dan verregaande specialisatie. In het egalitaire Australië waren destijds geen speciale scholen voor getalenteerde kinderen, en dat was misschien maar goed ook, zo schreef zijn vader verder. Daardoor konden zij in overleg met docenten een programma maken dat helemaal op Tao toegesneden was. Al naar gelang zijn vorderingen, volgde Tao sommige vakken op de basisschool, andere op de middelbare school of, later, op de universiteit. Zodat zijn zoon, aldus vader Tao, hopelijk niet op zijn zeventiende de wetenschap zou veruilen voor bijvoorbeeld rockmuziek. Tao moet een beetje lachen als hij met die opmerking geconfronteerd wordt. En eens even denken, ja, natuurlijk heeft hij wel eens getwijfeld. "Toen ik voor het eerst hoorde dat wiskundigen hun eigen problemen moeten bedenken en zelf met ideeën moeten komen, kon niemand me vertellen hoe dat moest. Dat maakte me bang. En veel later, tijdens de internetboom eind jaren negentig, hadden we het met collega's wel eens over of ook wij niet ons eigen bedrijfje moesten beginnen." Maar zulke twijfels waren kortstondig. Als een brede wiskundige, zo kenschetst hij zichzelf nu. "Veel mensen beperken zich tot één gebied van de wis-

kunde dat ze dan heel goed begrijpen. Maar ik — ik weet 't niet — ik word rusteloos als ik te lang aan hetzelfde werk. En als het dan niet interessanter wordt, maar alleen maar diepgravender en diepgravender. Dan wil ik naar een ander onderwerp overstappen, of met iemand anders samenwerken die aan een verwant onderwerp werkt." Zoals een vogel, die over het landschap van de wiskunde scheert? "Ja, ja, ik gebruik vaak een zelfde soort analogie. Kijk, wiskunde lijkt op het zoeken van een weg van A naar B. Dat kun je doen vanaf de grond, door je gestaag een weg door het struikgewas te banen. Maar je kunt ook, al vliegend boven het landschap, een weg proberen te ontwaren. "Je hebt beide manieren nodig", zegt Tao. Als je alleen maar het grote overzicht hebt, mis je details die cruciaal kunnen zijn. Maar wie zich verliest in details, ziet niet meer waar hij heen gaat. "En daarom houd ik ervan om samen te werken. Dan kan de een het overzicht houden, terwijl de ander de details onderzoekt." Zo ontstond, bijna per ongeluk zegt

DE BALANS IS HET BELANGRIJKST

De ouders van Terence Tao, die in 1972 uit Hong Kong naar het Australische Adelaide vertrokken gaven alle drie hun zoons een scholing op maat. De middelste is autistisch en een benadigd pianist, die ook de ingewikkeldste concerten naspelt zodra hij ze één keer gehoord heeft. De jongste studeerde, op latere leeftijd dan Terence, wiskunde en economie en werkt bij Google, waar hij onder meer algoritmes ontwikkelt. Voor Terence, de oudste, werd steeds een programma opgesteld in overleg met docenten en hoogleraren van de universiteit. In het Australië van toen waren er geen scholen voor hoogbegaafden, zoals die er bijvoorbeeld in de Verenigde Staten wel zijn. "Ik denk wel dat het goed is dat zulke scholen bestaan. En dat het goed zou zijn als elk kind in elk geval een deel

• Werk van de Pools-Nederlandse kunstenaar Eliza Kopec. Het schilderij (150x150 cm) is een matrix van de getallen 1 tot 10.000 waarin alle priemgetallen worden vertegenwoordigd door donkere vierkantjes. De witte verticale banen zijn het logische gevolg van het ontbreken van even priemgetallen m.u.v. het getal 2.
FOTO JÖRGEN KRIELEN

Tao, ook de samenwerking met Ben Green. Hij besprak met hem een probleem uit de harmonische analyse, toen ze zich realiseerden dat deze wiskunde gebruikt kon worden voor het later inderdaad door hen bewezen vermoeden rond priemgetallen. Voor een onderwerp dus uit de getaltheorie, de leer waarmee de wiskunde ooit begon. Het is het vakgebied waar Tao als kind een zwak voor had, maar dat hij later verliet, zoals hij terloops zegt, 'omdat de openstaande problemen in de getaltheorie zo ontzettend moeilijk bleken'. De lezing die Tao in het Gorlaeuslab gaf, betrof resultaten uit een andere samenwerking: met Emmanuel Condès. Puttend uit de harmonische analyse vonden zij een methode om met slimme Fourieranalyses uit wat in feite te weinig meetpunten lijken, toch de oorspronkelijke functie te reconstrueren. Werk dat het bijvoorbeeld mogelijk kan maken om snel filmpjes op te nemen in een MRI-scanner in een ziekenhuis. En werk waarvan Tao en Condès telkens even de voortgang bespraken wanneer ze hun zoonnetje, die op dezelfde peuterspeelzaal zaten, hadden afgezet of opgehaald.

TOONLADDERS Het is mooi om te zien hoe Tao telkens als hij zulk werk beschrijft, een verband met de meer alledaagse wereld legt. Door een toepassing te noemen, of door naar beelden te zoeken: in het gesprek draaien naalden en sterrenkijkers rond, worden diamanten verstuurd en kolkt water in afvoerputjes. Grappig genoeg, zegt hij, was ik als kind juist slecht in het visualiseren van dingen. Hij vertelt dat hij bijvoorbeeld niet een bepaalde vorm in gedachten kon laten wentelen of transformeren. "Maar als je tegenwoordig in de wiskunde een probleem wilt oplossen is het niet genoeg om allerlei formules op te schrijven. Je moet er een soort mentaal model bij bedenken. Je er een beeld bij vormen — en dat is het moeilijkst." Met een beetje verlegen lach vertelt hij hoe zijn vader hem een keer ongemerkt gadesloeg terwijl hij, een kleine jongen nog, heen en weer zat te schudden. "Omdat ik wilde voelen hoe het is om een golf te zijn."

In een meer volwassen beeldspraak kun je zo'n mentaal model met het bureaublad van een computer vergelijken, zegt Tao, en met de iconnetjes en mappen en folders daarop. Die je in staat stellen om te werken zonder dat je je om de technische details van de stromen nullen en enen hoeft te bekommeren. Met een interfece dus? Ja, lacht hij: "Het interface van de wiskunde zelf is eigenlijk waardevol, dus moeten wiskundigen steeds weer zelf iets beters bedenken." Soms levert dat prachtige beeldspraak op die de essentie van een wiskundig probleem wonderbaarlijk goed vangt, vindt Tao. En wiskundigen zouden juist die beelden meer moeten uitdragen, denkt hij. "Want dat daar vervolgens ingewikkelde formules bij horen geloven mensen wel. Net zoals iedereen wel wil aannemen dat een pianist dagelijks toonladders moet oefenen."

Bij al die verwijzingen naar de muziek is het goed om nog te preciseren dat de schoonheid van muziek en van wiskunde niet zomaar te vergelijken zijn. "De schoonheid van muziek schuilt toch vooral in de emoties die zij kan oproepen. De wiskunde is daarbij vergeleken eerder 'elegant': probeert met minimale middelen zoveel mogelijk te bereiken. De mooiste resultaten in de wiskunde bestaan daarom soms uit het vinden van een nieuw en veel eenvoudiger bewijs voor een oud resultaat." Tot slot: wiskundig genie Terence Tao houdt veel, maar niet alleen van klassieke muziek. Hij houdt ook van sommige makkelijk toegankelijke popmuziek, want: "niet alles in het leven hoeft een intellectuele uitdaging te zijn."

RIJEN IN DE PRIEM

Het werk waarvoor Terence Tao en Ben Green vorige week de Ostrowskiprijs kregen, betreft priemgetallen. Deze getallen, die alleen deelbaar zijn door een en door zichzelf, staan al meer dan tweeduizend jaar in de belangstelling. Rond 300 voor Christus liet de Griekse wiskundige Euclides met een elegant en eenvoudig bewijs zien dat er oneindig veel priemgetallen bestaan.

Wie vervolgens de priemgetallen probeert langs te lopen, van klein naar steeds groter, ziet dat ze wel steeds schaarser worden. In 1793 onderzocht de toen 15-jarige Karl Friedrich Gauss welk verloop de telantificatie heeft die aangeeft hoe snel (of liever: langzaam) priemgetallen in aantal toenemen. Hij vermoedde dat de dichtheid van de priemgetallen rond een punt x omgekeerd evenredig is met de natuurlijke logaritme van x. De vraag die Green en Tao beantwoord hebben, werd eeuwen geleden al geformuleerd en betreft rekenkundige rijen: rijen van priemgetallen die steeds een vast getal van elkaar verschillen. De getallen 3,5,7 vormen bijvoorbeeld een rij van lengte drie (verschil twee). De rij 5,17,29,41,53 heeft lengte vijf (verschil 12). De

langste tot dusver gevonden rij bevat 22 priemgetallen. De vraag luidt nu: zijn er nog langere rijen? En zijn er zelfs rekenkundige rijen van elke willekeurige (eindige) lengte? De conventionele manier om dit probleem te benaderen was door te proberen priemgetallen zo goed mogelijk te doorgronden, vertelt Tao. Veel kennis over de priemgetallen zelf zou dan, zo was de hoop, ook tot inzicht in de rijen leiden. Maar de filosofie van Tao en Green — eigenlijk die van Ben Green, benadrukt Tao — was juist om niet te kijken naar de priemgetallen zelf, maar naar de verzameling die ze samen vormen. "En als je dan eerst probeert te begrijpen welke verzamelingen van getallen rekenkundige rijen bevatten, kun je daarna bekijken of er ook verzamelingen met priemgetallen bestaan die zulke rijen bevatten." Het bewijs bestond er vervolgens uit om een verzameling te maken, waarin de priemgetallen niet zo schaars zijn als in de verzameling van alle natuurlijke getallen (1,2,3,4,5,6,...). En er bestaat inderdaad zo'n verzameling, zo toonden Green en Tao aan, waarin dan rekenkundige rijen van elke willekeurige lengte voorkomen.