

HET GROTE VERSCHIL

Kit Yates

Het Grote Verschil

Een wereld vol wiskunde

Vertaling Laura van Campenhout
en Fabian Petit



2020

THOMAS RAP
AMSTERDAM

Sommige namen en herkenbare bijzonderheden zijn gewijzigd,
ook als dat niet in de tekst staat aangegeven.

Copyright © 2019 Kit Yates
Copyright Nederlandse vertaling © 2020 Laura van
Campenhout en Fabian Petit
Oorspronkelijke titel *The Maths of Life and Death*
Oorspronkelijke uitgever Quercus, Londen
Omslagontwerp Moker Ontwerp
Foto auteur University of Bath
Vormgeving binnenwerk Perfect Service
Druk Bariet Ten Brink, Meppel
ISBN 978 94 004 0587 5
NUR 321

thomasrap.nl



Bij de productie van dit boek is gebruikgemaakt van papier dat het keurmerk van de Forest Stewardship Council (FSC®) mag dragen. Bij dit papier is het zeker dat de productie niet tot bosvernietiging heeft geleid.

Voor mijn ouders,
Tim, Nancy en Mary,
die me leerden lezen,
en mijn zus Lucy,
die me leerde schrijven.

Inhoud

- Inleiding: bijna alles 9
- 1 Exponentieel denken: een verkenning van de geweldige kracht en ontvullende grenzen van exponentieel gedrag 19
 - 2 Sensitiviteit, specificiteit en second opinions: waarom de wiskunde ervoor zorgt dat de geneeskunde ertoe doet 59
 - 3 De wetten van de wiskunde: onderzoek naar de rol van de wiskunde in de wetgeving 110
 - 4 Je moet de waarheid niet geloven: statistieken in de media tot hun ware proporties teruggebracht 155
 - 5 Een kwestie van plaats en tijd: de evolutie van onze talstelsels en hoe ze ons in de steek laten 203
 - 6 Aanhoudende optimalisering: het ongeremde potentieel van algoritmen, van evolutie tot e-commerce 242
 - 7 Vatbaar, besmettelijk, verwijderd: ziektebeheersing hebben we zelf in de hand 287
- Epiloog: wiskundige emancipatie 331
- Dankwoord 335
- Noten 339

Inleiding

BIJNA ALLES

Mijn zoontje van vier speelt graag in de tuin. Het liefst graaft hij griezelige kruipers op ter inspectie, met name slakken. Als hij genoeg geduld heeft en zij de eerste schok van hun ontworteling te boven zijn, zullen ze zich voorzichtig uit hun veilige huisje wagen, over zijn kleine handen glijden en een kleverig slijmspoor achterlaten. Even later is hij ze beu en dumpst hij ze een tikje harteloos in de composthoop of bij de houtstapel achter de schuur.

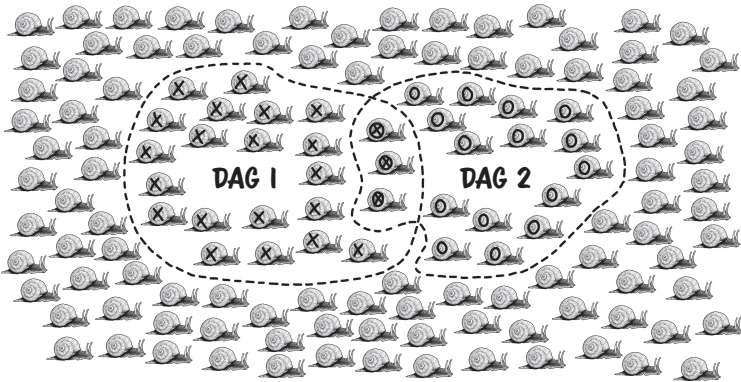
Eind september kwam hij, na een bijzonder drukke sessie waarin hij wel zes joekels had verzameld en weer weggedaan, naar me toe toen ik hout voor het vuur aan het zagen was. Hij vroeg: ‘Papa, hoeveel slakken zit [*sic*] er in de tuin?’ Een bedrieglijk eenvoudige vraag waar ik geen goed antwoord op had. Het zouden er honderd maar ook best duizend kunnen zijn. Eerlijk gezegd zou hij het verschil niet hebben begrepen. Toch had zijn vraag mijn belangstelling gewekt. Hoe konden we dit samen oplossen?

We besloten een experiment te doen. Het volgende weekend gingen we op zaterdagochtend naar buiten om slakken te verzamelen. Na tien minuten hadden we in totaal 23 gastropoden. Met de stift uit mijn achterzak zette ik op elk huisje een klein subtiel kruis. Toen ze allemaal gemerkt waren, kieperden we de emmer om en lieten we de slakken weer de tuin in kruipen.

Een week later waren we terug voor de tweede ronde. Deze keer leverde een strooptocht van tien minuten ons maar 18

slakken op. Toen we ze nauwkeurig inspecteerden, ontdekten we dat er 3 een kruis op hun huisje hadden, terwijl de andere 15 niet beklad waren. Meer informatie hadden we niet nodig om de berekening te maken.

Het idee is als volgt: het aantal slakken dat we de eerste dag hadden gevangen, namelijk 23, is een gegeven proportie van de totale populatie in de tuin, waarop we grip willen krijgen. Als we deze proportie kunnen berekenen, kunnen we het aantal gevonden slakken opschalen om de totale populatie van de tuin te vinden. We gebruiken dus een tweede monster (dat we de zaterdag erna genomen hebben). De proportie gemerkte exemplaren in dit monster, 3:18, moet representatief zijn voor de proportie gemerkte exemplaren in de hele tuin. Wanneer we deze proportie vereenvoudigen, zien we dat de gemerkte slakken 1 op de 6 exemplaren in de totale populatie uitmaken (dit



Figuur 1: De verhouding (3:18) tussen het aantal opnieuw gevangen slakken (met \otimes gemarkeerd) en het totale aantal dat de tweede dag is gevangen (met \circ gemarkeerd), moet hetzelfde zijn als de verhouding (23:138) tussen het aantal dat we de eerste dag (met \times gemarkeerd) gevangen hebben en het totale aantal slakken in de tuin (gemarkeerd en niet-gemarkeerd).

zie je afgebeeld in figuur 1). Daarom vergroten we het aantal gemerkte exemplaren uit de vangst van dag één, 23, met een factor 6 om een schatting te krijgen van het totale aantal slakken in de tuin, namelijk 138.

Klaar met hoofdrekenen wendde ik me tot mijn zoontje, die op de slakken die we hadden verzameld had ‘opgepast’. Wat vond hij ervan toen ik hem vertelde dat we iets van 138 slakken in onze tuin hadden? ‘Papa,’ zei hij, kijkend naar de scherven van een huisje die nog aan zijn vingers plakten, ‘ik heb hem doodgemaakt.’ Maak er maar 137 van.

Deze eenvoudige wiskundige berekening is bekend als de vangst-terugvangstmethode en komt uit de ecologie, waar ze wordt gebruikt om de populatiegrootte van dieren te schatten. Je kunt het zelf doen door twee afzonderlijke monsters te nemen en de onderlinge overlapping te vergelijken. Misschien wil je een schatting maken van de verkochte loten op de buurtbraderie of van de opkomst bij een voetbalwedstrijd aan de hand van ticketstrookjes zodat je geen lastige koppentelling hoeft te doen.

De vangst-terugvangstmethode wordt ook in serieuze wetenschappelijke projecten gebruikt. Ze kan bijvoorbeeld vitale informatie over de fluctuerende aantallen van een bedreigde diersoort verschaffen. De schatting van het aantal vissen in een meer die dit oplevert,¹ kan voor visverenigingen de doorslag geven over hoeveel vergunningen ze zullen verstrekken. De methode is zo effectief dat het gebruik ervan zich buiten het terrein van de ecologie heeft begeven en er nauwkeurige schattingen mee worden gemaakt over alles, van het aantal drugsverslaafden² in een populatie tot het aantal oorlogsslachtoffers in Kosovo.³ Dit is de pragmatische macht die met eenvoudige wiskundige ideeën kan worden verworven. Dit zijn de soort concepten die we in dit boek zullen onderzoeken en die ik stelselmatig in mijn dagelijkse werk als wiskundig bioloog gebruik.

Als ik mensen vertel dat ik wiskundig bioloog ben, krijg ik meestal een beleefd knikje vergezeld van een ongemakkelijke stilte, alsof ik op het punt sta hen een geheugentest af te nemen over wat ze nog weten van de kwadratische formule of de stelling van Pythagoras. Ze zijn niet enkel ontmoedigd, ze vinden het ook moeilijk te begrijpen hoe een onderwerp als wiskunde, dat zij als abstract, zuiver en ongrijpbaar ervaren, iets te maken kan hebben met een onderwerp als biologie, dat stevast als praktisch, rommelig en nuttig wordt gezien. Deze kunstmatige tweedeling kom je vaak op school al tegen: als je exacte vakken leuk vond maar niet zo dol op algebra was, werd je de biologische kant op geduwd. Als je, zoals ik, exacte vakken leuk vond maar geen zin had om dode dingen open te snijden (ik ben een keer flauwgevallen aan het begin van een ontleding, toen ik bij binnenkomst in het lokaal een vissenkop op mijn werktafel zag liggen), werd je de kant van de fysica op gestuurd. Twee richtingen die nooit één zullen worden.

Het is mij ook overkomen. In de bovenbouw liet ik biologie vallen en ik deed eindexamen in wiskunde, uitgebreide wiskunde, natuurkunde en scheikunde. Op de universiteit moest ik mijn vakken nog verder specialiseren en toen speet het me dat ik de biologie, een vak waarvan ik vond dat het een ongehooflijke kracht had om levens ten goede te veranderen, vaarwel moest zeggen. Ik was superenthousiast over de kans om me in de wereld van de wiskunde te storten, maar maakte me onwillekeurig zorgen dat ik een vak koos dat maar heel weinig praktische toepassingen leek te hebben. Ik had er niet méér naast kunnen zitten.

Terwijl ik me door de zuivere wiskunde die we op de universiteit kregen heen ploeterde en het bewijs van de tussenwaardestelling of de definitie van een vectorruimte vanbuiten leerde, waren het de cursussen toegepaste wiskunde waar ik het allemaal voor deed. Ik luisterde naar docenten die vertelden hoe

ingenieurs wiskunde gebruiken om bruggen zo te bouwen dat ze niet gaan trillen en bij veel wind instorten, of om vleugels te ontwerpen die garanderen dat vliegtuigen niet uit de lucht komen vallen. Ik kreeg les in de kwantummechanica die natuurkundigen gebruiken om de vreemde gang van zaken op subatomaire schaal te begrijpen en de speciale relativiteitstheorie die de merkwaardige gevolgen van de constante lichtsnelheid onderzoekt. Ik volgde cursussen waarin wordt uitgelegd hoe we wiskunde in de scheikunde, het geldwezen en de economie gebruiken. Ik las hoe we wiskunde in de sport gebruiken om de prestaties van onze beste atleten te verbeteren en hoe we met behulp van wiskunde door computers gegenereerde afbeeldingen van speelfilmsscènes maken die in het echt niet kunnen bestaan. Kortom, ik leerde dat de wiskunde kan worden gebruikt om bijna alles te omschrijven.

In het derde jaar van mijn studie had ik de mazzel dat ik een cursus wiskundige biologie kon doen. De docent was Philip Maini, een innemende Noord-Ierse hoogleraar van in de veertig. Hij was niet alleen dé vooraanstaande figuur in zijn vakgebied (hij is later dan ook fellow geworden van de Royal Society), maar hij was ook duidelijk dol op zijn onderwerp en zijn enthousiasme sloeg over op de studenten in zijn collegezaal.

Naast wiskundige biologie leerde Philip me ook dat wiskundigen mensen met gevoelens zijn, en geen eendimensionale automata, zoals ze vaak worden afgeschilderd. Een wiskundige is, zoals de Hongaarse probabilist Alfréd Rényi ooit zei, meer dan alleen 'een machine om koffie in stellingen om te zetten'. Terwijl ik in Philips kamer op de start van het sollicitatiegesprek voor een promotieplaats zat te wachten, zag ik, ingelijst aan de muur, de vele afwijzingen van Premier League-clubs waarbij hij voor de grap op vacatures in het management had gesolliciteerd. Ons gesprek ging uiteindelijk meer over voetbal dan over wiskunde.

Philip hielp me om op dit cruciale punt van mijn universitaire studie weer helemaal opnieuw met de biologie kennis te maken. Tijdens mijn promotieonderzoek werkte ik onder zijn toezicht aan alles, van het begrijpen van de manier waarop sprinkhanen zwermen en hoe ze gestopt kunnen worden tot het voorspellen van de complexe choreografie van de ontwikkeling van het embryo van een zoogdier en de verwoestende gevolgen wanneer de stappen niet meer synchroon lopen. Ik bouwde modellen die verduidelijken hoe vogeleieren aan hun prachtige pigmentatiepatronen komen en schreef algoritmen om de beweging van vrij zwemmende bacteriën te kunnen volgen. Ik simuleerde parasieten die ons immuunsysteem omzeilen en modelleerde de manier waarop dodelijke ziekten zich in een populatie verspreiden. Het werk waar ik tijdens mijn promotieonderzoek aan ben begonnen heeft de basis gelegd voor de rest van mijn carrière. In mijn huidige functie als hoogleraar toegepaste wiskunde aan de Universiteit van Bath werk ik met mijn eigen promovendi nog steeds aan deze en andere fascinerende gebieden van de biologie.

Als toegepast wiskundige zie ik de wiskunde in de eerste plaats als een praktisch hulpmiddel om onze complexe wereld te begrijpen. Wiskundige modellen kunnen ons in alledaagse situaties voordeel opleveren zonder dat daar honderden oersaai vergelijkingen of regels computercode aan te pas hoeven komen. Wiskunde is op het meest fundamentele niveau een patroon. Telkens wanneer je naar de wereld kijkt, bouw je je eigen model met de patronen die je waarneemt. Je ziet wiskunde als je een motief in de fractale takken van een boom of in de meervoudige symmetrie van een sneeuwvlok opmerkt. Je hoort wiskunde als je met je voet op de maat van een nummer mee tikt of wanneer je stem, terwijl je staat te zingen onder de douche, galmt en weerklinkt. En je doet aan wiskunde als je de voet-

bal met een fraaie boog in de kruising schiet of een cricketbal vangt als die op zijn parabolische baan op je af komt. Met elke nieuwe ervaring, elk stukje zintuiglijke informatie worden de modellen die je van je omgeving hebt gemaakt verfijnd, opnieuw geconfigureerd en nog gedetailleerder en complexer dan ze al waren. De beste manier om de regels van de wereld om ons heen te begrijpen, is het bouwen van wiskundige modellen die zijn ontworpen om onze complexe realiteit vast te leggen.

Ik geloof dat verhalen en analogieën de eenvoudigste en belangrijkste modellen zijn. We kunnen de invloed van de ongeziene onderstroom die wiskunde heet het beste illustreren door aan te tonen welke effecten ze op mensenlevens heeft, van buitengewone tot alledaagse. Wanneer we door de juiste lens kijken, kunnen we de verborgen wiskundige regels die aan onze gemeenschappelijke ervaringen ten grondslag liggen, gaan ontwarren.

De zeven hoofdstukken van dit boek verkennen de waargebeurde verhalen over gebeurtenissen die het leven van mensen op zijn kop hebben gezet en waarbij de wiskunde – al dan niet correct toegepast – een doorslaggevende rol heeft gespeeld: patiënten die door defecte genen invalide worden en ondernemers die door foutieve algoritmen failliet gaan; onschuldige slachtoffers van gerechtelijke dwalingen en onwetende slachtoffers van softwareproblemen. We volgen de verhalen van beleggers die een fortuin hebben verloren en ouders die kinderen hebben verloren, allemaal vanwege wiskundig wanbegrip. We worstelen met ethische dilemma's van screening tot statistisch boerenbedrog en onderzoeken relevante maatschappelijke kwesties, zoals politieke referenda, ziektepreventie, strafrecht en kunstmatige intelligentie. In dit boek zullen we zien dat wiskunde diepzinnige of belangrijke dingen over al deze onderwerpen te zeggen heeft. En meer.

Ik som niet alleen de plekken op waar wiskunde kan opdui-

ken, maar voorzie je daarnaast op tal van pagina's van eenvoudige wiskundige regels en hulpmiddelen die je in je dagelijkse leven kunnen helpen: van het vinden van de beste zitplaats in de trein tot hoe je je kalmte bewaart als je een onverwachte testuitslag van je arts krijgt. Ik stel eenvoudige manieren voor om numerieke fouten te voorkomen en we krijgen drukinkt aan onze vingers als we de cijfers achter de krantenkoppen ontwarren. We kijken van dichtbij naar de wiskunde achter consumentengenetica en zien wiskunde in actie terwijl we de stappen onder de aandacht brengen die genomen kunnen worden om de verspreiding van een dodelijke ziekte te helpen stoppen.

Zoals je hopelijk wel begrepen zult hebben, is dit geen wiskundeboek. Het is ook geen boek voor wiskundigen. Je zult op deze pagina's geen enkele vergelijking vinden. Het doel van dit boek is niet om je weer te doen denken aan de wiskundelessen op school, waar je misschien al jaren geleden bent afgehaakt. Eerder het tegenovergestelde. Als je ooit buitenspel bent gezet en je het gevoel hebt gekregen dat je niets met wiskunde kunt of er niet goed in bent, zie dit boek dan als een revanche.

Ik geloof oprecht dat de wiskunde er is voor iedereen en dat we allemaal de prachtige wiskunde die centraal staat in de ingewikkelde fenomenen die we dagelijks ervaren, kunnen waarderen. Zoals we in de volgende hoofdstukken zullen zien, is wiskunde het valse alarm dat op ons verstand inspeelt en het valse vertrouwen dat ons 's nachts helpt om te slapen; de verhalen die ons op de sociale media worden opgedrongen en de internetmemes die zich daar verspreiden. Wiskunde is zowel de mazen in de wetgeving als de naald die deze dicht; zowel de technologie die levens redt als de fouten die deze in gevaar brengen; zowel de uitbraak van een dodelijke ziekte als de strategieën om deze te bestrijden. Ze is onze beste hoop op antwoord op de meest fundamentele vragen over de raadsels van de kosmos en de geheimen van onze eigen soort. Ze gaat ons

voor op talloos vele levenspaden en ligt aan gene zijde te wachten om ons bij het uitblazen van onze laatste ademtocht aan te staren.