Het isgelijkteken

Robbert Dijkgraaf

Het isgelijkteken

2019 Prometheus Amsterdam

© 2019 Robbert Dijkgraaf
Omslagontwerp Roald Triebels
Foto auteur Andrea Kane
Zetwerk Mat-zet bv, Soest
www.uitgeverijprometheus.nl
ISBN 978 90 446 4092 2

Het isgelijkteken

Het isgelijkteken is mijn favoriete wiskundige symbool. Zijn bescheiden rol is dienend maar cruciaal. Het verbindt de linker- en de rechterhelft van een vergelijking. Een typische formule ziet eruit als A = B. Het is duidelijk dat de hoofdrolspelers A en B zijn, niet het kleine symbool in het midden. Maar zonder die twee dunne streepjes zouden A en B nooit samen in één regel staan. Welbeschouwd doet het isgelijkteken iets volstrekt magisch. Het maakt twee dingen hetzelfde die dat eerst niet waren. Zelfs in een simpele identiteit als 1 + 1 = 2 zijn de twee helften niet vanzelfsprekend hetzelfde. Pas als je de regels van de rekenkunde begrijpt, zie je dat de som klopt. Alleen door het isgelijkteken zijn A en B in staat samen een gesprek te beginnen. Ik heb het altijd charmant gevonden dat het symbool uit twee evenwijdige lijntjes bestaat, als een tweebaansweg waarlangs het verkeer beide kanten op kan gaan.

In de natuurkunde maakt het isgelijkteken de verrassendste inzichten mogelijk. Albert Einstein was een mees-

ter in het aan elkaar knopen van begrippen die a priori niets met elkaar te maken hadden. Energie en massa verschijnen ineens samen in zijn beroemde formule $E = mc^2$. Hier werkt het isgelijkteken als een wisselkoers. Het laat zien hoe energie in massa kan worden omgezet en vice versa. Op dezelfde wijze worden ruimte en materie verbonden in de nog veel complexere vergelijking van zijn algemene relativiteitstheorie. Die vertelt hoe de ruimte de materie laat bewegen en hoe materie de ruimte laat krommen. Of neem zijn formule voor het zogeheten foto-elektrisch effect, dat de energie en de kleur van licht met elkaar in verband brengt – het inzicht waarvoor Einstein uiteindelijk de Nobelprijs kreeg.

Zo verbindt het isgelijkteken altijd verschillende werelden en maakt het mogelijk om ideeën vrij van de ene kant naar de andere kant te laten stromen. Op vergelijkbare wijze brengen deze essays onderwerpen bij elkaar die op het eerste zicht misschien niet bij elkaar horen: de paus en de oerknal, de octopus en de robot, Einstein en een rekenfout, Google en de PTT, Amerika en Nederland, kunst en wetenschap, zuiver onderzoek en concrete toepassingen. En toch staan ze samen in een stuk. *Bien étonnés de se trouver ensemble*.

De wereld en de wetenschap zijn als een grote bouwdoos vol feiten, inzichten en begrippen. Het is de menselijke verbeelding die al die stukjes aan elkaar past en er een geheel van maakt. Met isgelijktekens.

De wereld van morgen

Terwijl de dreigende oorlogswolken zich boven de wereld samenpakten, werd op 30 april 1939 de *New York World's Fair* geopend. Het thema van deze wereldtentoonstelling was 'De wereld van morgen'. In de daaropvolgende achttien maanden kregen bijna 45 miljoen bezoekers een kijkje in een toekomst gevormd door nieuwe opkomende technologieën. Sommige getoonde uitvindingen waren hun tijd ver vooruit. Zo kon men de eerste vaatwasmachine, airconditioner en het eerste faxapparaat aanschouwen. De rechtstreeks uitgezonden openingstoespraak van president Franklin Roosevelt liet Amerika kennismaken met een nieuw begrip: de televisie. In de bioscopen werd de ruim twee meter lange Elektro the Moto-Man getoond, een harkerige aluminium robot die via grammofoonplaten sprak, sigaretten rookte en met zijn robothond Sparko speelde. Andere attracties, zoals een processie van imposante stoomlocomotieven, lieten zich beter omschrijven als de laatste ademtocht van de wereld van gisteren.

Albert Einstein, erevoorzitter van het wetenschappelijk

adviescomité van de tentoonstelling, leidde de officiële ceremonie voor het ontsteken van de verlichting van de tentoonstelling, een gebeurtenis die ook rechtstreeks op tv werd uitgezonden. Hij hield voor de grote menigte een toespraak over kosmische straling, hoogenergetische subatomaire deeltjes die de aarde vanuit de ruimte bombarderen. Het evenement is wel eens als een klucht beschreven. Einstein was nauwelijks te verstaan, vanwege zijn zware Duitse accent en omdat de versterkers het lieten afweten. En de openingsact – het opvangen van tien kosmische stralen – eindigde in een spectaculair debacle. De deeltjes werden via een telefoonlijn vanaf het Hayden Planetarium in Manhattan naar de tentoonstelling in Queens doorgegeven, waar hun komst met luide bellen en flitsende lichtsignalen werd aangekondigd. Maar bij het opvangen van de tiende straal sloegen de stoppen door en werd de zaal in duisternis gehuld, waarna het publiek teleurgesteld vertrok. 'De menigte verruilde de wetenschap voor een spektakel dat zij wél kon toejuichen,' schreef *The New York Times* de volgende dag droogjes.

Twee wetenschappelijke ontdekkingen die de wereld kort daarna zouden domineren, waren echter niet te zien op de wereldtentoonstelling. Ze werden ook niet door Einstein genoemd: kernenergie en elektronische computers. Opvallend is dat beide technologieën hun oorsprong vonden in een instituut dat al sinds 1933 de academische thuisbasis van Einstein was: het Institute for Advanced Study in Princeton, New Jersey. Abraham Flexner was de

geestelijke vader en tevens de eerste directeur van het Instituut. Volgens zijn droom was het bedoeld als een 'paradijs voor geleerden', vrij van onderwijs of administratieve verplichtingen, waarin de grootste academische sterren ongestoord konden nadenken over diepe problemen, zo ver mogelijk verwijderd van alledaagse kwesties en praktische toepassingen. Het Instituut was de belichaming van Flexners visie, namelijk het 'ongehinderd nastreven van nutteloze kennis' waarvan het nut pas na tientallen jaren, of misschien wel nooit, duidelijk wordt.

Het onvoorziene nut van dit nutteloze onderzoek werd echter sneller duidelijk dan verwacht. Met de creatie van een academisch paradijs maakte Flexner ongewild de nucleaire en digitale revolutie mogelijk. Een van de eerste wetenschappers die hij naar Princeton wist te lokken was Einstein, die in augustus 1939, enkele maanden na zijn ongelukkige toespraak tijdens de wereldtentoonstelling, de beroemde brief aan president Roosevelt zou schrijven waarin hij erop aandrong dat Amerika een atoombom zou gaan ontwikkelen. Het baanbrekende artikel over het mechanisme van kernsplijting van Niels Bohr en John Wheeler, cruciaal voor de werking van een kernwapen, verscheen in het wetenschappelijk tijdschrift *Physical Review* op 1 september 1939, de dag waarop de Tweede Wereldoorlog begon.

Al vroeg stelde Flexner ook de Hongaarse wiskundige John von Neumann aan, die misschien nog genialer was dan Einstein. Von Neumann behoorde tot de 'Marsman-

netjes', een invloedrijke groep Hongaarse wetenschappers onder wie Edward Teller, Eugene Wigner en Leo Szilard, de fysicus die Einstein hielp bij het opstellen van zijn brief aan Roosevelt. Onder natuurkundigen doet het verhaal de ronde dat een gefrustreerde Enrico Fermi eens vroeg waar toch al die intelligente, bijzondere buitenaardse wezens waren die de aarde zouden hebben moeten bezoeken, waarop Szilard gevat antwoordde: 'Ze zijn al onder ons, maar ze noemen zichzelf Hongaren.'

Von Neumann verwierf al vroeg een reputatie met zijn werk in zuivere wiskunde en de grondslagen van de kwantumtheorie. Samen met de Amerikaanse logicus Alonzo Church maakte hij van Princeton in de jaren dertig een centrum voor wiskundige logica, dat grootheden zoals Kurt Gödel en Alan Turing aantrok. Von Neumann was gefascineerd door Turings abstracte idee van een universele rekenmachine die wiskundige stellingen mechanisch kon bewijzen. Toen de ontwikkeling van de kernbom grootschalige numerieke modellering vereiste, verzamelde Neumann een groep ingenieurs in het Instituut om een begin te maken met het ontwerpen, bouwen en programmeren van een elektronische digitale computer. Hiermee werd Turings universele machine een realiteit. Zoals Von Neumann in 1946 opmerkte: 'Ik denk na over iets veel belangrijkers dan bommen. Ik denk na over computers.'

In zijn vrije tijd vroeg Von Neumann zijn team om deze nieuwe rekenkracht toe te passen op een groot aantal andere problemen, niet direct gerelateerd aan wapens. In 1949

deed hij samen met de meteoroloog Jule Charney de eerste elektronische weersvoorspelling. Eigenlijk was het een 'naspelling' want het kostte toen 48 uur rekentijd om het weer van morgen – dat wil zeggen, inmiddels gisteren – te voorspellen. Von Neumann voorzag al vroeg het belang van klimaatverandering en schreef over het onderzoek naar de invloed van het weer en klimaat op aarde: 'Dit alles zal de belangen van landen ingrijpender verstrengelen dan de dreiging van een nucleaire of welke andere oorlog.'

Een logische machine die wiskundige stellingen kan bewijzen en een technisch artikel over de structuur van een atoomkern lijken op het eerste oog totaal nutteloos. Ze speelden echter een belangrijke rol bij de ontwikkeling van technologieën die ons leven radicaal en onherkenbaar hebben veranderd. Dit door nieuwsgierigheid ingegeven onderzoek naar de fundamenten van materie en rekenen leidde tot de ontwikkeling van kernwapens en digitale computers, die op hun beurt de militaire en economische wereldorde permanent zouden veranderen. In plaats van een vage, kunstmatige grens proberen te trekken tussen 'nuttige' en 'nutteloze' kennis, kunnen we beter het voorbeeld van de Britse chemicus en Nobelprijswinnaar George Porter volgen, die het over toegepast en 'nog-niet-toegepast' onderzoek had.

De ondersteuning van zowel toegepast als nog-niet-toegepast onderzoek is niet alleen verstandig, het is een maatschappelijke noodzaak. We kunnen de complete wetenschappelijke vernieuwingscyclus, die op talloze be-

langrijke manieren in de maatschappij doorwerkt, beter realiseren en stimuleren door een sterke 'onderzoeksportefeuille' te ontwikkelen, vergelijkbaar met een gedegen beleggingsportefeuille. Zo'n evenwichtige portefeuille moet voorspelbare, stabiele kortetermijnbeleggingen bevatten, maar ook op de lange termijn inzetten met investeringen die weliswaar riskanter zijn, maar ook enorm veel meer kunnen opleveren. Een gezond, gebalanceerd ecosysteem ondersteunt het volledige spectrum aan wetenschappelijk werk en is een voedingsbodem voor een complex web van wisselwerkingen en terugkoppelingen.

Het huidige onderzoeksklimaat, aangestuurd door dubieuze metrieken en beleidsregels, vormt echter een obstakel voor deze verstandige aanpak. Tegen een achtergrond van economische onzekerheid, wereldwijde politieke onrust, steeds kortere tijdscycli en een toenemend gebrek aan financiële middelen worden onderzoekscriteria steeds meer afgestemd op conservatieve kortetermijndoelen, tot op het gevaarlijke af. Men probeert wellicht dringende problemen aan te pakken, maar schiet voorbij aan de enorme vooruitgang die de menselijke verbeelding op de lange termijn kan teweegbrengen. In ons moderne tijdperk en in de wereld van morgen is vooruitgang – net als in Flexners tijd – niet alleen afhankelijk van technische expertise, maar ook van ongebreidelde nieuwsgierigheid en de grote voordelen van de reis stroomopwaarts, tegen de stroom van praktische overwegingen in.

Wie was Abraham Flexner, en waar kwam zijn rotsvaste geloof in de kracht van onbelemmerde wetenschap vandaan? Flexner werd in 1866 in Louisville in Kentucky geboren in een joods gezin met negen kinderen. Zijn ouders waren immigranten uit Bohemen. De Flexners raakten in de economische crisis van 1873 hun bedrijf kwijt. Maar ondanks deze onverwachte tegenslag slaagde Abraham erin met hulp van zijn oudere broer Jacob naar de Johns Hopkins-universiteit in Baltimore te gaan, in feite de eerste moderne onderzoeksuniversiteit in de Verenigde Staten. Op Johns Hopkins kwam Flexner in aanraking met een vooruitstrevend curriculum dat kon wedijveren met dat van toonaangevende buitenlandse universiteiten. Het zou zijn latere opvattingen permanent beïnvloeden. Hij bleef een levenslange criticus en hervormer op het gebied van onderwijs en onderzoek. In amper twee jaar haalde hij zijn bachelor in de klassieken, waarna hij terugkeerde naar Louisville om daar een school voor voorbereidend wetenschappelijk onderwijs op te richten. Hier voerde hij zijn revolutionaire ideeën door, gebaseerd op een diep vertrouwen in het creatieve vermogen van het individu, en een even diep wantrouwen tegenover instellingen en hun vermogen om dergelijk talent te ontwikkelen.

Flexner kwam in 1908 voor het eerst in de publieke belangstelling met zijn boek *The American College: A Criticism*, waarin hij sterk aandringt op praktijkgericht onderwijs in kleine klassen. Maar hij werd vooral befaamd om

een rapport dat hij in 1910 opstelde in opdracht van de Carnegie Foundation. In deze analyse over de stand van zaken binnen 155 medische faculteiten in Noord-Amerika bestempelde hij een groot aantal als bedrieglijke, onverantwoordelijke winstmachines die studenten geen enkele praktische training boden. Hij aarzelde niet om instellingen onwaardig, schandelijk of zelfs fictief te noemen. De opleiding in Chicago betitelde hij als 'de pesthaard van het land'. Het *Flexner Report* sloeg in als een bom. Bijna de helft van de medische faculteiten moest zijn deuren sluiten en andere voerden vergaande hervormingen door, waarmee het tijdperk van modern biomedisch onderwijs en onderzoek in de Verenigde Staten begon.

Flexners werk en visie leidden in 1912 tot zijn toetreding tot de General Education Board van de Rockefeller Foundation, een positie die hem het aanzien en de financiële middelen verschafte om een invloedrijke rol te spelen binnen het hoger onderwijs en de filantropie. Hij werd al snel uitvoerend secretaris, een functie die hij tot zijn pensionering in 1927 vervulde. Het was in deze hoedanigheid dat de ideeën in zijn essay 'The Usefulness of Useless Knowledge' tot stand kwamen. Uiteindelijk werd het artikel in oktober 1939 in het tijdschrift *Harper's Magazine* gepubliceerd, maar het begon al in 1921 als een interne memo voor het bestuur. In de jaren twintig nam Flexner een brede reeks instellingen voor hoger onderwijs in Europa zorgvuldig onder de loep, van de oude colleges in Engeland en Frankrijk tot de moderne universiteiten en onderzoeksinstituten in

Duitsland, die sterk verweven waren met de industrie. Als gastdocent aan All Souls College te Oxford kreeg Flexner in 1928 de kans om voor de Rhodes Trust een reeks lezingen te houden, waarin zijn ideeën over de toekomst van universiteiten en onderzoeksinstellingen vaste vorm aannamen. Een uitgebreide versie van zijn drie goed ontvangen lezingen werd gepubliceerd onder de titel *Universities: American, English, German* (Oxford 1930). De Grote Depressie en de politieke onrust die in de jaren dertig tot de Tweede Wereldoorlog leidden, scherpten zijn argumenten voor de noodzaak van een onafhankelijke wetenschap verder aan.

Flexner kreeg de kans om zijn verheven ideeën in de praktijk te brengen toen hij in 1929 werd benaderd door Louis Bamberger en zijn zus Caroline Bamberger Fuld. De Bambergers hadden hun gigantische, gelijknamige warenhuis in Newark twee weken voor de beurskrach op Wall Street aan concurrent Macy's verkocht en een fortuin gemaakt. Ze hadden het geluk in cash te zijn betaald. Hun oorspronkelijke plan was een medische instelling zonder enige vorm van discriminatie op grond van ras, geloof of etnische afkomst op te richten, maar Flexner overtuigde de weldoeners ervan om een instituut op te zetten dat uitsluitend was gewijd aan de vrije wetenschap. In 1930 werd hij de oprichter-directeur van het Institute for Advanced Study in Princeton.

De missie en visie van het instituut werden drastisch uitgebreid als gevolg van de ontwikkelingen in Europa. In 1933, toen Hitler aan de macht kwam en zijn draconische

wetten een exodus van joodse wetenschappers uit Duitsland teweegbrachten, arriveerden de eerste geleerden, waaronder Einstein, in Princeton. Flexner werkte samen met zijn broers Simon en Bernard en met ondersteuning van de Rockefeller Foundation om zo veel mogelijk wetenschappers naar de Verenigde Staten te halen. Deze toestroom van Europees talent zou de mondiale balans van kennis ingrijpend veranderen. In mei 1939 schreef Flexner in zijn laatste jaarverslag: 'We leven in een buitengewone tijd. Het centrum van de menselijke cultuur verschuift onder onze ogen... Het verschuift momenteel onmiskenbaar naar de Verenigde Staten... Als we met moed en verbeeldingskracht optreden, zullen historici over vijftig jaar terugkijken en melden dat het zwaartepunt van de wetenschap de Atlantische Oceaan is overgestoken en zich naar de Verenigde Staten heeft verlegd.' Flexner werkte er hard aan om dit mogelijk te maken. Toen Abraham Flexner in 1959 op 92-jarige leeftijd overleed, verscheen zijn overlijdensbericht op de voorpagina van *The New York Times*, samen met een redactioneel artikel dat eindigde met de woorden: 'Geen enkele andere Amerikaan van zijn generatie heeft meer bijgedragen aan het welzijn van dit land en de mensheid in het algemeen.'

Flexner bleef er zijn hele leven lang van overtuigd dat alleen de menselijke nieuwsgierigheid, in combinatie met het gelukkig toeval, sterk genoeg was om de mentale barrières te doorbreken die werkelijk grensverleggende idee-

en en technologieën blokkeren. Hij geloofde dat het lange, grillige pad van kennis, dat vaak begint met vrij onderzoek en eindigt met praktische toepassingen, pas achteraf duidelijk wordt.

Flexner beschreef helder het effect van het baanbrekend onderzoek naar de aard van elektromagnetisme door Michael Faraday en James Clerk Maxwell – 1939 was ook het jaar waarin FM-radio en de televisie in de Verenigde Staten werden geïntroduceerd. Einstein had opvallend genoeg in zijn kantoor thuis kleine portretten van deze twee Britse natuurkundigen aan de muur hangen. Er is een beroemde, misschien niet geheel geloofwaardige, anekdote dat William Gladstone, toenmalig Brits minister van Financiën, bij zijn bezoek aan het laboratorium van Faraday in de jaren 1850 vroeg wat voor praktisch nut zijn experimenten met elektriciteit voor het land zouden opleveren, waarop Faraday antwoordde dat hij geen idee had, maar: 'Mijnheer, op een dag kunt u er belasting op heffen.' De formules werden helaas nooit gepatenteerd, maar elektriciteit en draadloze communicatie zijn nu niet meer weg te denken. Ruim anderhalve eeuw later draaien vrijwel alle aspecten van ons leven letterlijk op elektriciteit.

Zo werden ook de bestudering van atomen en de ontwikkeling van de kwantummechanica aan het begin van de twintigste eeuw afgedaan als een theoretische speeltuin zonder praktisch nut voor een handjevol veelal uitzonderlijk jonge fysici – men sprak wel van *Knabenphysik*,