

Dennis Dieks

Man van de Praktijk

Albert Einsteins wonderjaar

De Academische Boekengids 52, september 2005, pp. 15-17.

In het jaar 1905 publiceerde Albert Einstein een reeks artikelen die een omwenteling voor de wetenschap betekende. En toch bleef Einstein een kind van zijn tijd, van een eeuw die in het teken stond van dynamo's, raderen en stoommachines.

Heldendaden van Dode Blanke Mannen zijn geen populair historisch onderwerp, ook niet in de wetenschapsgeschiedenis. Het is *comme il faut* om over sociaal-economische omstandigheden en globale dwarsverbanden te schrijven die de logica van ontwikkelingen blootleggen, niet om hagiografieën van Grote Denkers af te leveren. Maar geeft dit ook de historische werkelijkheid weer? Er zijn episoden in de geschiedenis, en zeker in de wetenschap, die in ieder geval op het eerste gezicht roepen om een op een hoofdpersoon gerichte benadering. De revolutie in de natuurkunde veroorzaakt door het werk van Einstein, nu honderd jaar geleden, is een in het oog springend voorbeeld: hoe zouden we die omwenteling kunnen begrijpen zonder aandacht voor Einstein zelf?

Albert Einstein werd geboren in 1879 in het Duitse Ulm. Na zijn studie aan de Eidgenössische Technische Hochschule vestigde hij zich in 1902 in Bern om te gaan werken bij het aldaar gevestigde octrooibureau. Hij zou er blijven tot zijn benoeming als bijzonder hoogleraar aan de universiteit van Zürich, in 1909. Vanaf dat moment verliep zijn academische carrière in ongeëvenaard tempo. In 1911 volgde een hoogleraarschap in Praag, een jaar later keerde hij in hogere rang terug naar Zürich om vervolgens, in 1914, het zenit van de Duitstalige natuurkunde van dat moment te bereiken: een buitengewoon prestigieus hoogleraarschap in Berlijn, zonder onderwijsverplichtingen en gecombineerd met de functie van directeur van het pas opgerichte Kaiser WilhelmInstitut.

Maar eerst waren er die zeven jaren in Bern, doorgebracht in bijna provinciaal isolement. Midden in deze periode, in 1905, schreef Einstein drie artikelen die ook nu nog als revolutionair gelden. Ze dreven de natuurkunde een volledig nieuwe kant op. In zijn *annus mirabilis* schreef Einstein ook nog een proefschrift en, als toegift bij het wonderartikel over de speciale relativiteitstheorie, een kort stuk waarin hij de formule $E=mc^2$ afleidde.

In maart 1905 kwam bij de tijdschriftredactie van *Annalen der Physik* het manuscript binnen van *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt*. Einstein deed hierin de verrassende suggestie dat het licht zich onder omstandigheden als een verzameling deeltjes gedraagt. Dat was verrassend, want lange tijd was in tal van omstandigheden onweerlegbaar aangehouden dat het licht een golfverschijnsel is - en iets kan niet tegelijk deeltje én golf zijn. Einstein dacht zelf dat deze tegenspraak weldra zou worden opgeheven door een subtiële variatie op de bestaande theorieën, die het licht bijvoorbeeld zou beschrijven als deeltjes die door een golf worden gestuurd - als balletjes op het water. Maar zijn artikel blijkt achteraf het begin van de kwantummechanica te markeren, de theorie die enkele decennia later het aanschouwelijke beeld van de submicroscopische natuur volkomen onderuit zou halen. Deze conceptuele omwenteling is ook nu nog niet geheel verteerd, zelfs niet onder specialisten in fysische kring. Laat staan dat ons algemene wereldbeeld zich eraan heeft aangepast.

Maar terug naar 1905: in mei volgde *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen*. Hierin liet Einstein zien dat de hypothese dat de materie op het kleinste niveau niet continu is, maar opgebouwd uit onzichtbaar kleine atomen en moleculen, geen vrijblijvende speculatie is maar onmiddellijk waarneembare consequenties moet hebben. Een klein korreltje verontreiniging in een vloeistof ondergaat stootjes van de omringende vloeistofmoleculen en krijgt als gevolg daarvan een onregelmatige beweging die onder de microscoop te zien moet zijn. Uit die zichtbare beweging kunnen vervolgens eigenschappen van de zelf onzichtbare moleculen berekend worden. De submicroscopische werkelijkheid wordt in dit tweede artikel van onmiddellijk praktisch belang en komt tastbaar nabij.

Dan, eind juni 1905, arriveert bij de redactie *Zur Elektrodynamik bewegter Körper*, verreweg het meest geacheverde stuk van de drie. In een systematisch betoog ruimt Einstein de spanningen uit de weg tussen aan de ene kant de bewegingsleer van Newton, met zijn absolute ruimte en tijd, en aan de andere kant de door Maxwell opgestelde veldentheorie van licht, elektriciteit en magnetisme, waarin die absolute ruimte en tijd niet nodig blijken. Een shockerende nieuwe analyse van het begrip 'gelijktijdigheid' speelt een cruciale rol in de argumentatie. Volgens Einstein gebeuren twee gebeurtenissen die voor ons gelijktijdig zijn, *niet* op hetzelfde moment voor andere waarnemers die ten opzichte van ons bewegen. De in dit artikel ontwikkelde leer over ruimte en tijd zou spoedig bekend komen te staan als de *speciale relativiteitstheorie*. De gelijkwaardigheid van energie en massa volgens $E=mc^2$ is slechts één van de revolutionaire gevolgen ervan.

'ONDANKS DE NIEUWE, VREEMDE, CONCLUSIES ZIJN EINSTEINS ARTIKELN
INZICHTELIJK EN SLUITEN ZE AAN BIJ DE FYSISCHE INTUÏTIE.'

Nu, honderd jaar later, is de betekenis van dit staccato tegen de gevestigde orde evident: groter dan de gevolgen van Alexanders veldtochten of Napoleons ingrijpen bij Friedland. Nog afgezien van de enorme technische consequenties, heeft het de natuurwetenschap een abstract-wiskundige richting opgestuurd die wegleidt van de intuïties van alledag. Voor Einstein zelf en zijn tijdgenoten was deze koerswijziging niet zo onmiddellijk duidelijk.

Ondanks de nieuwe, vreemde, conclusies zijn Einsteins artikelen inzichtelijk en sluiten ze aan bij de fysieke intuïtie. Einstein toont zich een meester in het bedenken van aanschouwelijke situaties waarin simpele redeneringen tot nieuwe resultaten voeren. Naast zulke gedachte-experimenten, waarin het erom gaat je een situatie voor te stellen, besteedt hij uitgebreid aandacht aan werkelijk uitvoerbare of al uitgevoerde experimenten. Hij is er telkens op gespist de empirische gevolgen van zijn onorthodoxe voorstellen aan het licht te brengen. Hierin is hij heel vindingrijk. Deze kant van Einstein, de 'gewone' fysicus met een pragmatische inslag die met beide benen op de grond staat, komt in de literatuur vaak niet tot zijn recht. Einstein is het icoon geworden van de sympathieke maar wereldvreemde theoreticus, bekend van de foto's uit zijn latere jaren. Daarop kijkt hij ons slecht gekleed en met verward haar lichtelijk verbaasd aan. Maar dezelfde Einstein had een lange lijst van praktische uitvindingen op zijn naam staan, waarvoor hij ook patenten had aangevraagd. Eén daarvan, voor een koelkast met een nieuw koelprincipe, kon makkelijk worden toegepast en leverde hem een aardig geldbedrag op. Enkele andere vindingen leidden eveneens tot industriële toepassingen.

Van de geschriften uit 1905 illustreert vooral de dissertatie Einsteins praktische kant. Het thema is opnieuw de moleculaire structuur van de materie, net als in het artikel over de *suspendierten Teilchen*, maar nu benaderd op een manier die veel dichterbij de standaardliteratuur uit die tijd ligt. Einstein rekent na hoe het toevoegen van suikermoleculen aan een vloeistof de stroperigheid en de diffusiesnelheid daarvan beïnvloedt. Hij stelt de suikermoleculen in deze berekening voor als kleine bolletjes en behandelt de vloeistof zelf als continuüm. Het blijkt dat de vloeistof stroperiger wordt door de toevoeging en dat de mate waarin dat gebeurt, afhangt van de straal van de bolletjes. Dit wordt uitgedrukt in een experimenteel bruikbare formule die een microscopische eigenschap (de afmeting van de opgeloste moleculen) verbindt met macroscopisch meetbare grootheden. Het is een stuk werk dat volop gebruikmaakt van praktische vereenvoudigingen en hydrodynamische standaardtechnieken; er zijn ook directe technische toepassingen. Einstein zette de resultaten strategisch in. Hij begreep dat deze uitwerking een uitstekende indruk zou maken op de hoogleraren aan de universiteit van Zürich. Theoretische onderwerpen lagen daar absoluut niet goed en al helemaal niet als er een speculatief kantje aan zat. Maar met zijn hydrodynamische methode ter bepaling van de afmetingen van moleculen verwierf Einstein zonder problemen de doctorstitel.

Hingen Einsteins resultaten in 1905 al in de lucht? De problemen die hem motiveerden, waren erkend en werden al door anderen bestudeerd. Onze landgenoot Hendrik Lorentz hield zich bezig met de verhouding tussen de theorieën van Newton en Maxwell; Max Planck en anderen hadden berekeningen gemaakt die relevant waren voor de kwantumtheorie; velen theoretiseerden over de atomaire structuur van de materie. Het bijzondere van Einsteins bijdragen zit hem in de merkwaardige combinatie: enerzijds zocht hij naar algemene, overkoepelende principes zonder zich te laten afleiden door niet onmiddellijk relevante details of zich te storen aan *received wisdom*. Anderzijds had hij een nuchtere en praktische inslag, met een scherp oog voor het verband met het experiment. Lorentz verrichtte uiterst nauwgezette detailstudies om Maxwell en Newton met elkaar te verzoenen. Maar Einstein verving deze door de algemene principes van de speciale relativiteitstheorie en zijn nieuwe visie op de betekenis van gelijktijdigheid. Planck rekende met kwantumformules terwijl hij binnen het kader van de oude fysica bleef; Einstein stelde daarentegen voor dat het licht echt uit gelokaliseerde kwanta bestond, zonder zich er voorlopig om te bekommeren dat een consistente theorie ontbrak waarin golf- en deeltjesaspecten konden worden samengebracht. In beide gevallen gaf hij de experimentele gevolgen van zijn ideeën aan. Ten slotte: de meeste fysici dachten wel dat materie uit atomen bestond – maar Einstein liet die atomen ook zien.

Een essentiële factor in Einsteins genialiteit en succes is de grote flexibiliteit waarmee hij heen en weer manoeuvreerde tussen zijn zeer ruim genomen theoretische uitgangspunten en de nuchtere werkelijkheid. Hij was niet bang terug te komen op wat hij kort tevoren met verve had beweerd. Evenmin schrok hij ervoor terug begrippen vaak een tikkeltje anders te gebruiken dan zoals hij ze had geïntroduceerd. In 1915 schreef hij spottend over zichzelf aan zijn vriend Paul Ehrenfest: 'Es ist bequem mit dem Einstein. Jedes Jahr widerruft er, was er das vorige Jahr geschrieben hat.'

Is zo'n individuele aanpak te zien als een min of meer logisch voortvloeisel van de bredere situatie of tijdgeest? Wetenschapshistoricus Peter Galison argumenteert in *Einstein's Clocks, Poincaré's Maps. Empires of Time* dat dit inderdaad het geval is. In zijn boek stelt Galison de vraag hoe Einstein ertoe kwam het tijdbegrip aan een onderzoek te onderwerpen en hoe hij vervolgens kon breken met de absolute gelijktijdigheid. Hij wijst erop dat in de tweede helft van de negentiende eeuw het coördineren van klokken een centraal technisch en ook maatschappelijk probleem was geworden. De grote koloniale machten wilden hun imperia efficiënt en volgens wetenschappelijke inzichten inrichten. Eén van de daarbijbehorende praktische punten was het op elkaar afstemmen van klokken in het moederland en de

overzeese gebiedsdelen. Daartoe werden met grote nauwkeurigheid radiosignalen uitgezonden die bij de te synchroniseren klok werden opgevangen. Ook het groeiende spoorwegnet had behoefte aan precieze tijd- en dienstregelingen. Er verschenen dan ook verschillende verhandelingen over de techniek van het gelijkzetten van klokken op verschillende stations, uitgaande van één centrale moederklok. De cartografie en plaatsbepaling op aarde zijn andere populaire onderwerpen in de negentiende eeuw waarvoor precieze tijdmeting van levensbelang was.

Het basisprincipe bij al deze kwesties is dat het synchroniseren van klokken gebeurt door het uitwisselen van signalen. En zie, in *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* vraagt Einstein zich af wat 'gelijktijdig' eigenlijk betekent. Als antwoord geeft hij een procedure aan om klokken door middel van het uitwisselen van signalen gelijk te zetten. Klaarblijkelijk was hij ondergedompeld in de maatschappelijke/technische cultuur, waarin tijd bijna tot een obsessie was geworden, en zo een werkelijk kind van zijn tijd! In bijna 400 pagina's werkt Galison dit thema uit tot een fascinerende microkosmos waarin de speciale relativiteitstheorie een vrijwel dwangmatig gevolg is van het geestelijk klimaat rond 1900.

Maar is er een relatie tussen deze in zich gesloten wereld van Galisons studie en de werkelijkheid? Nergens in het boek vinden we het historische gegeven dat Einstein al jarenlang piekerde over de problemen in de elektrodynamica voordat hij in 1905 zijn inzicht kreeg over de niet-absoluutheid van gelijktijdigheid. Verder is er geen enkele indicatie dat hij kennis had van de door Galison uitbundig geciteerde technische literatuur of dat hij contact had met Galisons door tijd geobsedeerde denkers. Ook de verklarende kracht van het verhaal is onduidelijk. Mocht het zo zijn dat Einstein zich totaal onbewust was van de bovengenoemde tijdpreoccupatie in sommige kringen, dan levert dat toch geen enkel probleem op voor het reconstrueren van de geschiedenis van de speciale relativiteitstheorie. Als daarentegen Einstein inderdaad van jongs af aan was ingebed in een klimaat waarin het gelijkzetten van klokken belangrijk was, zou dat nog steeds geen afdoende verklaring voor het ontstaan van die theorie opleveren. Er zit immers veel meer in de theorie dan alleen het gelijkzetten van klokken. En waarom hadden anderen de cruciale stap dan nog niet genomen?

'ECHT GOEDE - EN ZEKER GENIALE - WETENSCHAP, ZOALS DIE VAN EINSTEIN ZELF, WERKT NIET MET CONCEPTUELE DWANGBUIZEN.'

In een lezenswaardige recensie van Galisons boek in *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* besluit John Stachel dan ook dat Galison bezig is geweest zo veel mogelijk materiaal in een vooraf klaargemaakte vorm te gieten, met weglating van gegevens die er niet in pasten. Dat lijkt me een juiste conclusie. Het is waar dat wetenschap, ook geschiedwetenschap, niet zonder een theoretisch kader kan. Ideeën zijn nodig om vragen en mogelijke antwoorden te creëren. Maar echt goede - en zeker geniale - wetenschap, zoals die van Einstein zelf, werkt niet met conceptuele dwangbuisen. Juist in het heen en weer gaan tussen flexibele conceptuele kaders en het feitenmateriaal ligt een essentieel deel van de vooruitgang. Het is dan ook droevig te moeten zien dat Stachel zijn bespreking afsluit met de mededeling dat zijns inziens uitsluitend de leer van Marx licht kan werpen op de complexe samenhang tussen maatschappelijke en intellectuele ontwikkelingen.

John Rigden, jarenlang hoofdredacteur van het *American Journal of Physics*, benadert Einsteins wonderjaar op een meer conventionele wijze. Hij loopt de vijf publicaties (inclusief proefschrift en $E=mc^2$) in chronologische volgorde na en bespreekt de saillante punten ervan op deskundige, enthousiaste en begrijpelijke wijze. Maar wat is nu precies het bijzondere en geniale van de relativiteitstheorie? Waarom was Einstein hiervoor nodig? Rigden probeert deze vraag te beantwoorden in de proloog *The Standard of Greatness: Why Einstein?* We lezen daar dat Einstein het zeldzame vermogen bezat direct de fundamentele principes te zien die ten grondslag liggen aan de verschijnselen die we waarnemen. *He saw Nature as it is*. Einstein probeerde de gedachten van God te leren kennen: *In 1905, Einstein had a direct line to God's thoughts*. Enzovoort. Met dit soort hagiografische onthullingen komt de wetenschapsgeschiedenis niet veel verder.

Dan is het beter terug te keren tot de bron. Sinds 1987 verschijnen regelmatig delen van *The Collected Papers of Albert Einstein*, verzorgd door een wisselend team van redacteurs. In 1989 kwam *Volume 2* uit, *The Swiss Years: Writings, 1900-1909*. Hoofdredacteur van dit deel was John Stachel, die we boven al tegenkwamen. Zijn politieke passies blijven hier onuitgesproken en dan is er niets aan de hand. Het kloeke boekwerk bevat reproducties van alles wat Einstein tussen 1900 en 1909 in de wetenschappelijke literatuur heeft gepubliceerd. De Duitstalige originelen worden vergezeld van overtuigend gedocumenteerde en zeer informatieve Engelse commentaren. Samen met de in *Volume 5* gepubliceerde correspondentie uit deze jaren levert dit een behoorlijk gedetailleerd beeld op van Einsteins ontwikkeling gedurende het eerste decennium van de twintigste eeuw. Een must voor de serieuze Einstein-student.

'ZOALS NAPOLEON BIJ WATERLOO: EINSTEIN LEEK SOMS VLAKBIJ SUCCES TE KOMEN, MAAR HET WILDE NET NIET MEER LUKKEN.'

Enkele thema's springen eruit. We zien Einstein al in zijn eerste gepubliceerde beginnerswerk (1901 en 1902) pogen het atomaire/moleculaire beeld tastbaar te maken door te zoeken naar empirische verificaties. Zijn voorliefde voor de hiermee verbonden aanschouwelijke voorstellingen komt ook later sterk naar voren. In het lichtkwantumartikel spreekt hij over de kwanta als waren het kleine knikkertjes. In het stuk over de speciale relativiteit hangt hij het betoog geheel op aan het gedrag van meetlatten en

klokken. Dit stramien van begrijpelijkheid door aanschouwelijkheid wordt echter liberaal gehanteerd. Einstein weet bijvoorbeeld dat de klassieke golftheorie van elektriciteit en magnetisme niet juist kan zijn, maar hij heeft geen uitgewerkte nieuwe theorie die ervoor in de plaats kan komen. Hoewel hij vasthoudt aan een aanschouwelijk beeld, laat hij de details daarom in het midden. In zijn speciale relativiteitstheorie geeft hij algemene regels waaraan theorieën moeten voldoen, zonder zich op een concreet schema vast te leggen. Dat geldt ook voor zijn beschouwingen over de moleculaire theorie: Einstein richt zich op algemene karakteristieken, bijvoorbeeld dat de moleculen gelokaliseerd zijn, een afmeting hebben, bewegen en tegen elkaar aan botsen, en laat zien dat daaraan al duidelijke consequenties zijn verbonden. De nadere invulling van het beeld blijft open. Dit geeft veel manoeuvreerruimte, waarvan Einstein optimaal gebruik weet te maken.

Maar het blijft een kader, met beperkingen. De grondtoon blijft toch die van de negentiende eeuw, met zijn dynamo's, stoommachines en raderen: concrete en aanschouwelijke constructies. In gedachten kunnen zulke materiële objecten heel klein worden gemaakt. We kunnen ons ook voorstellen dat ze van nature in zodanig kleine vorm voorkomen dat ze niet gezien en gevoeld kunnen worden. Maar het blijven dan nog altijd objecten in de gewone zin van het woord. Einsteins wereld blijft die van de spoorlijn, de grote oceaanstomers en automobielen. Hij slaagde erin dit wereldbeeld maximaal op te rekken. Als ver vooruitgeschoven post van de klassieke fysica verkende hij het terrein dat voor hem lag zo ver als hij kon. Maar de twintigste- en eenentwintigste-eeuwse virtuele wereld van de kwantummechanica kwam niet binnen zijn bereik.

Tien jaar na 1905 deed Einstein nog een meestergreep. Na jaren van worsteling kwam de *algemene relativiteitstheorie* af. Dit is een generalisatie van de relativiteitstheorie uit 1905, waarin de zwaartekracht is opgenomen. Een wonder van elegantie en diepte, en de culminatie van het idee van een veldentheorie zoals dat in de negentiende eeuw was ontwikkeld. Daarna begonnen de conceptuele resources op te drogen. Anderen werkten de kwantummechanica uit. Hoewel Einstein prominent deelnam aan de discussies, deed hij dat als criticus van de nieuwe ideeën en niet als drijvende kracht. De nieuwe generatie kwantumfysici stelde het klassieke materiebegrip ter discussie. Submicroscopische deeltjes hadden niet langer zowel een plaats als een snelheid en onttrokken zich zo aan iedere voorstelling. Het was Einstein een gruwel. Langs de lijnen van zijn eerdere werk probeerde hij er een alternatief tegenover te stellen. Maar zoals Napoleon bij Waterloo: hij leek soms vlakbij succes te komen, maar het wilde net niet meer lukken. Genialiteit heeft zijn grenzen.

Dennis Dieks is hoogleraar wijsbegeerte en grondslagen van de natuurwetenschappen aan de Universiteit Utrecht.

Besproken boeken:

Einstein 1905. The Standard of Greatness
door **J.S. Rigden**
Harvard University Press. Cambridge (Mass.) 2005.
ix + 173 pag., € 26,45

Einstein's Clocks, Poincaré's Maps. Empires of Time
door **P. Galison**
W.W. Norton. New York 2003.
389 pag., € 19,60

The Collected Papers of Albert Einstein, Volume 2. - The Swiss Years: Writings, 1900-1909
door **J. Stachel (red.)**
Princeton University Press. Princeton 1989.
xxix + 656 pag., € 54,60

The Collected Papers of Albert Einstein, Volume 5. - The Swiss Years: Correspondence, 1902-1914
door **J. Stachel (red.)**
Princeton University Press. Princeton 1995.
384 pag., € 51,95

Literatuur:

- **J. Stachel**, 'Review of "Einstein's Clocks, Poincaré's Maps; Empires of Time" by P. Galison', *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 36 (2005) 202-210.