

# De wetenschappelijke ontdekking: gebeurtenis of proces?

F. van Lunteren

## Inleiding

In leerboeken zijn natuurwetenschappers uit het verleden vooral ontdekkers. De geschiedenis van de natuurwetenschappen openbaart zich hier als een aaneenschakeling van ontdekkingen, waarbij telkens een steen aan het bouwwerk der wetenschappelijke kennis wordt toegevoegd. De één ontdekt de universele zwaartekracht, de ander het element zuurstof, weer een ander de planeet Uranus, een vierde de natuurlijke selectie, en een vijfde het elektron. Stap voor stap wordt de ware aard der werkelijkheid blootgelegd.

Tegen dit geschiedbeeld bestaat een aantal bezwaren. Een eerste bezwaar geldt het veronderstelde onveranderlijke karakter van de bouwstenen. Eenmaal ‘ontdekte’ kennis is niet statisch. Theorieën evolueren, betekenissen verschuiven, interpretaties veranderen en soms, heel soms, worden aloude zekerheden op hun kop gezet. Onze Maxwellvergelijkingen zijn niet identiek aan Maxwells Maxwell-vergelijkingen; we formuleren ze anders en we interpreteren ze anders. Iets soortgelijks geldt voor Darwins evolutietheorie, de Mendelwetten en de oxidatietheorie van Lavoisier. En het geldt zelfs voor concrete objecten. Onze bacteriën zijn niet die van Leeuwenhoek, ons elektron is niet dat van Thomson, en ons zuurstof verschilt van dat van Lavoisier. Niet omdat bacteriën, elektronen en zuurstof zelf in de loop der tijd veranderd zijn, maar omdat onze voorstellingen van deze zaken wezenlijk veranderd zijn.

Een tweede bezwaar dat enigszins met het voorgaande samenhangt, heeft betrekking op het beeld van de ontdekkingen zelf. Deze worden doorgaans beschouwd als gebeurtenissen, en wel gebeurtenissen die betrekking hebben op een specifiek individu en die zich afspelen op een wel bepaalde plaats en tijd. De ontdekking overkomt de ontdekker als het ware. Al denkende komt hij ineens tot een nieuw briljant inzicht (eureka!), door zijn kijker neemt hij een nieuwe planeet waar, en al experimenterend ontdekt hij plotseling een nieuw effect.

Dit populaire beeld doet op geen enkele wijze recht aan de wetenschappelijke praktijk. In de regel is het zeer moeilijk om één iemand als de ontdekker van wat dan ook aan te wijzen en zelfs onmogelijk om die ontdekking op een specifiek tijdstip vast te pinnen. Om dit punt te illustreren zal hier een aantal vermaarde ontdekkingen uit verschillende vakgebieden in enig detail worden beschreven.

De eerste vier ontdekkingen hebben betrekking op materiële objecten. Het gaat hier achtereenvolgens om Uranus (sterrenkunde), zuurstof (scheikunde), het elektron (natuurkunde), en vitamine B1 (geneeskunde). De eerste twee vonden plaats in de tweede helft van de achttiende eeuw, de laatste twee rond de laatste eeuwwisseling. We zullen zien dat met deze ontdekkingen een proces van maanden of zelfs jaren gemoeid was. De laatste twee voorbeelden betreffen ontdekkingen van meer theoretische aard, namelijk de Mendelwetten en de universele zwaartekracht. Hier was de situatie zo mogelijk nog ingewikkelder en moeten we zelfs denken in termen van decennia. Deze zes voorbeelden maken het mogelijk om tot enkele (voorzichtig) generalisaties te komen ten aanzien van het ontdekkingsproces en de problematische kanten die daaraan kleven.

## 1 Uranus

Volgens de gebruikelijke visie is Uranus op 13 maart 1781 ontdekt door de astronoom Willi-

am Herschel. In zijn astronomische journaal van die dag is de ontdekking netjes geboekstaafd. “In the quartile near Zeta Tauri ... is a curious either nebulous star or perhaps a comet.” Het waargenomen object in kwestie was ongetwijfeld Uranus. Maar is het reëel om hier te spreken van de *ontdekking* van de *planeet* Uranus? Tussen 1690 en 1781 was hetzelfde object al meer dan tien keer waargenomen en geregistreerd door astronomen, die het allen voor een ster aanzagen. Het enige punt waarin Herschel met hen verschilt, is zijn suggestie dat het, gezien de opvallende omvang, hier mogelijk om een *komeet* gaat.

Twee aanvullende waarnemingen op 17 en 19 maart bevestigen zijn vermoeden dat het waargenomen object zich verplaatst ten opzichte van de omringende sterren. Bijgevolg worden astronomen door heel Europa op de hoogte gebracht van de ontdekking van de nieuwe komeet. De wiskundigen onder hen zetten zich vervolgens aan de moeilijke taak om aan de hand van de schaarse waarnemingen de baan van de komeet te berekenen. Eerst na een aantal maanden, nadat alle resultaten onverenigbaar blijken met de waargenomen posities, suggereert de Britse astronoom Maskelyne dat het nieuwe object wel eens een planeet zou kunnen zijn. Zijn Zweedse collega Lexell slaagt er daarna al spoedig in aan de hand van aanvullende berekeningen een *planeten*baan te reconstrueren die wél blijkt te sporen met de observaties. Ook anderen komen tot dergelijke resultaten en na verloop van tijd wordt de suggestie van een nieuwe planeet algemeen geaccepteerd.

In tegenstelling tot veel van zijn vakgenoten dacht Herschel zelf in de eerste maanden van 1782 nog steeds aan een komeet. Daarvoor had hij empirische argumenten. Volgens zijn in het voorafgaande jaar verrichtte waarnemingen naderde het object de aarde, terwijl een planeet zich in die periode juist van de aarde zou hebben moeten verwijderen. Achteraf weten we dat dat laatste in werkelijkheid ook het geval was. Waarom constateerde Herschel een toenemende diameter, terwijl de planeet zich juist verwijderde? Dat zullen we wel nooit achterhalen. Er zijn altijd grenzen aan de nauwkeurigheid van waarnemingen en in de buurt van die grenzen willen verwachtingen nog wel eens automatisch bewaarheid worden. Maar uiteindelijk ging ook Herschel overstag door het toenemend gewicht van de argumenten die pleitten voor de planetenhypothese.

Tot zover de ontdekkingsgeschiedenis. De vraag is nu wanneer de planeet Uranus ontdekt is en wie die ontdekking gedaan heeft. Waarneming alleen kan niet voldoende zijn om van een ontdekking te spreken. We zijn immers niet zo gauw bereid om het prehistorische wezen dat toevallig op het juiste moment zijn blik omhoog richtte deze eer te gunnen. Als het er enkel om gaat wie de planeet het eerst waargenomen én geregistreerd heeft (als ster), dan heeft de ontdekking vermoedelijk in de zeventiende eeuw plaats gevonden. Maar ook dit antwoord kan ons nauwelijks bevredigen. Herschel komt de grote verdienste toe als eerste opgemerkt te hebben dat het object een wel erg grote helderheid bezat voor een onbekende ster. Dit tekent zowel zijn ervaring als astronoom als de kwaliteit van zijn instrumenten. Daarentegen was het Maskelyne die de rekenaars op het juiste spoor zette en waren het deze rekenaars, waaronder Lexell, die een vermoeden omzetten in een algemeen aanvaard gegeven.

Het meest redelijke antwoord lijkt dan ook dat de planeet ‘ontdekt’ is door de gezamenlijke inspanningen van Herschel, Maskelyne, Lexell én andere wiskundige astronomen, en dat die ontdekking op zijn minst enkele maanden in beslag heeft genomen. Dat Herschel de eer van de ontdekking gekregen heeft, is iets waarmee wij ons wel kunnen verzoenen. Uiteindelijk heeft hij het hele proces in beweging gezet. Maar het beeld dat de ontdekking op één bepaald moment heeft plaatsgevonden, vertekent de geschiedenis en het beeld van de wijze waarop wetenschappelijke resultaten tot stand komen. Laten we een ander voorbeeld bekijken.

## 2 Zuurstof

Zuurstof is eind achttiende eeuw ontdekt door Priestley. Zegt de één. Nee, zegt een ander, goed beschouwd is Lavoisier de ontdekker van zuurstof. En een derde beweert dat beiden er

naast zitten: de ware ontdekker was Bayen. Er zijn zelfs nog meer kandidaten, maar die laten we hier maar even buiten beschouwing om de zaken niet nodeloos te compliceren. Maar wie was nu de ware ontdekker?

In maart 1774 publiceert Pierre Bayen enkele proefnemingen met rood kwikneerslag (HgO) ter bepaling van de samenstelling. Bij verhitting van het neerslag blijkt er een gas vrij te komen. Bayen identificeert dit gas als 'vaste lucht' (CO<sub>2</sub>). Pneumatische chemici waren vertrouwd met deze, van gewone lucht afwijkende substantie door het vroegere werk van de chemicus Joseph Black.

Begin augustus van het zelfde jaar herhaalt Joseph Priestley dit experiment, vermoedelijk zonder Bayens werk te kennen. Anders dan Bayen merkt Priestley op dat het gas verbrandingsprocessen ondersteunt. Vaste lucht kan het dus niet zijn. Volgens Priestley gaat het hier om salpeterachtige lucht, een substantie die hij zelf twee jaar eerder ontdekt zou hebben.

Later die maand reist Priestley naar Parijs, alwaar hij Lavoisier bericht over deze nieuwe chemische reactie. Deze herhaalt op zijn beurt de proef in november en in februari van het volgende jaar. Maar op grond van zijn uitgebreide proefnemingen komt hij tot een nieuwe identificatie van het gas, die hij in mei 1775 bekend maakt. Het gaat hier, aldus Lavoisier, om atmosferische lucht in een zeer zuivere vorm.

Intussen heeft Priestley ook niet stil gezeten. Nog voor maart 1775 concludeert hij eveneens dat het gas niets anders kan zijn dan doodgewone lucht. Maar reeds in maart ziet hij zich gedwongen deze conclusie te herzien. Het gas gedraagt zich in veel opzichten veel 'beter' dan gewone lucht en moet daar dus van verschillen. Waarschijnlijk hebben we hier te maken met iets nieuws en wel met gedeflogisticeerde lucht, oftewel lucht ontdaan van haar natuurlijk aandeel van flogiston (de stof die volgens een gangbare theorie uit die tijd bij iedere verbranding vrijkomt).

Priestley publiceert deze conclusie in de *Philosophical Transactions*. Lavoisier wordt er door geprikkeld zijn eigen resultaten opnieuw te onderzoeken. Hij begint hiermee in februari 1776 en binnen een jaar komt hij tot zijn definitieve inzicht. De tot dan toe als homogeen geziene atmosferische lucht is in werkelijkheid een samenstelling van verschillende, afscheidbare componenten, en het betreffende gas vormt één van die componenten. Dit inzicht zal zich geleidelijk aan verbreiden onder chemici.

Wanneer en door wie is zuurstof ontdekt? Bayen lijkt vrij snel af te vallen als kandidaat. Weliswaar had hij het gas in vrij zuivere vorm geïsoleerd, maar zijn identificatie hiervan met een ander, reeds bekend gas maakt ons terughoudend in de toekenning van het predicaat ontdekker. Bovendien hadden anderen vóór hem hetzelfde gas ook al geproduceerd en geïsoleerd, overigens ook zonder er iets bijzonders in te zien.

Priestley's kandidatuur lijkt iets sterker te staan. Hij ziet uiteindelijk in dat het gas ten dele verschilt van reeds bekende gassen. Helemaal nieuw is gedeflogisticeerde lucht aan de andere kant natuurlijk ook niet. In wezen is het atmosferische lucht in een ongebruikelijk zuivere vorm, en theoretisch gezien was het bestaan daarvan volstrekt vanzelfsprekend. Bovendien is ook Priestley's identificatie in onze ogen onjuist. Dus toch Lavoisier?

Daar valt nog wel op af te dingen. Uiteindelijk is Lavoisiers 'oxygène' strikt genomen ook niet identiek aan ons zuurstof. Immers 'oxygène' is, zoals de naam suggereert, voor Lavoisier het materiële 'zuurprincipe', eigen aan en onderdeel van ieder zuur. Wij kunnen in bijvoorbeeld zoutzuur (HCl) met de beste wil van de wereld geen zuurstofatoom ontdekken. Bovendien wordt zuurstofgas volgens Lavoisier pas gevormd na vereniging van deze substantie met warmtestof ('calorique', de warmtestof). Warmtestof maakt absoluut geen deel uit van ons zuurstofgas.

Stellen wij daarentegen als eis dat het inzicht in de aard van zuurstof voldoende met dat van ons overeen moet komen om de ontdekking als afgerond te kunnen beschouwen, dan zitten we al haast in de tweede helft van de negentiende eeuw. Maar zuurstof was al lang voor die

tijd erkend als een standaard chemische substantie. Die status had het trouwens, zelfs zonder de herinterpretatie door Lavoisier, waarschijnlijk ook wel gekregen op basis van het werk van Priestley.

Laten we al met al concluderen dat zuurstof ontdekt is in de periode 1774-1777, door toedoen van het werk van een aantal chemische onderzoekers, waarbij Priestley en Lavoisier een hoofdrol opeisen. Ook hier lijkt het uiterst gekunsteld om de ontdekking aan één persoon en één specifiek tijdstip te koppelen.

### 3 Elektron

Zoals iedere fysicus weet, werd het elektron in 1897 ontdekt door Joseph John Thomson, de toenmalige directeur van het vermaarde Cavendish laboratorium te Cambridge. Thomsons onderzoek betrof de zogenaamde kathodestraling, een bepaald type straling dat zich voordoet bij elektrische ontladingen in gassen bij zeer lage druk. In dat bewuste jaar toont Thomson aan, althans zo wil de geschiedenis, dat deze straling uit zeer kleine elektrische deeltjes bestaat. Uit zijn metingen volgt in het bijzonder de waarde voor het quotiënt van de lading en de massa van die deeltjes. Hij wordt later voor deze ontdekking beloond met de Nobelprijs.

Niemand zal hem het recht op die prijs alsnog willen betwisten. Maar het blijft aardig en leerzaam om ook deze gebeurtenis onder het historische vergrootglas te leggen. Eerst iets over de voorgeschiedenis van het onderzoek der kathodestraling. Kathodestrallen zijn stralen die uitgaan van de kathode oftewel negatieve elektrode. Deze straling manifesteert zich vooral door het doen fluoresceren van bepaalde substanties die door deze straling getroffen worden, bijvoorbeeld de glazen wand van de ontladingsbuis. Er bestaan aan het eind van de negentiende eeuw uiteenlopende opvattingen over de aard van de straling, die we globaal in twee groepen kunnen verdelen.

Zo stelt de Brit William Crookes in 1879 dat het hier om elektrisch geladen moleculen gaat. Deze moleculen ontladen volgens hem hun negatieve lading aan het contact met de kathode. De resulterende afstotende kracht is verantwoordelijk voor de hoge snelheden waarmee ze zich van de kathode verwijderen. Crookes heeft twee empirische argumenten voor deze visie. In de eerste plaats wordt de straling uitgezonden in een richting loodrecht op de kathode; in de tweede plaats kan de straling worden afgebogen door middel van een magnetisch veld, hetgeen sterk voor een deeltjesopvatting pleit.

Hier tegenover staat de visie van een aantal Duitse natuurkundigen, zoals Goldstein en Hertz. Zij menen dat de straling uit golven in de ether bestaat en daarmee in dezelfde categorie thuishoort als warmtestraling, zichtbaar licht en ultraviolette straling. De laatstgenoemde straling wordt immers eveneens gekenmerkt door rechte lijnige voortplanting en fluorescentieverschijnselen. Bovendien heeft Hertz in 1883 vergeefs getracht om enerzijds de straling af te buigen middels een elektrisch veld en anderzijds de getransporteerde elektrische lading direct te detecteren. Dit alles suggereert dat het hier zeker niet om elektrische deeltjes gaat.

Steun ondervindt Crookes van zijn landgenoot Arthur Schuster in Manchester. Deze ontkent weliswaar dat het om geladen moleculen gaat – moleculen kunnen volgens Schuster geen elektrische lading ontvangen –, zijn suggestie van ionen, oftewel de geladen bestanddelen van moleculen, laat de hypothese van elektrisch geladen materiedeeltjes volledig in tact. Uit metingen aan de afbuiging der straling onder invloed van een magneet in combinatie met schattingen van de snelheid der afgestoten ionen, komt hij tot een onder- en bovenlimiet voor de waarde van het quotiënt van lading en massa ( $e/m$ ). De laagste waarde, een factor duizend kleiner dan de hoogste, komt hem het meest waarschijnlijk voor en deze waarde spoort goed met de hypothese der ionen.

In 1892 dient Hertz de deeltjeshypothese een op het oog fatale klap toe. Hij laat zien dat de straling door dunne metaalfolies heen kon gaan. Maar de Britten zijn niet onder de indruk. Zo suggereert Thomson dat het door de ionen gebombardeerde metaal zelf weer als kathode gaat

fungeren. De straling gaat niet door het folie heen, maar wordt aan de ene kant opgevangen en aan de andere weer uitgezonden. Ook de daaropvolgende pogingen van Hertz' leerling Lenard om deze suggestie langs experimentele weg te ontcrachten, brengen de Britten niet van hun stuk.

Thomson slaat terug door met behulp van een roterende spiegel op een ingenieuze wijze de voortplantingssnelheid van de straling te meten. Uit zijn metingen volgt dat die een factor duizend kleiner is dan de lichtsnelheid waarmee ethergolven geacht worden zich voort te planten. Zoals wij nu weten verschilt de snelheid van de kathodestraling in werkelijkheid niet zo veel van de lichtsnelheid.

Verdere ondersteuning voor de deeltjeshypothese komt in 1895 van de Fransman Perrin. Deze slaagt erin de straling op te vangen en de daardoor getransporteerde negatieve lading aan te tonen. Was kathodestraling tot nog toe een tamelijk marginaal verschijnsel voor de meeste fysici, de opeenvolgende 'ontdekkingen' van Becquerelstraling (radioactiviteit, 1895), Röntgenstraling (1896) en het Zeeman-effect (1896) brengen het hele complex van stralingsverschijnselen in het brandpunt van de belangstelling.

Het Zeeman-effect, oftewel de verbreding (of zoals later bleek splitsing) van spectraallijnen uitgezonden door een natriumvlam in een magnetisch veld, is van directe betekenis voor de ontdekking van het elektron. Lorentz verklaart het Zeeman-effect in termen van zijn eigen theorie, volgens welke trillende elektrische deeltjes in de natriumatomen verantwoordelijk zijn voor de straling. Zeemans metingen maken het mogelijk een waarde te bepalen voor het quotiënt van lading en massa van die elektrische deeltjes. Deze waarde is in de orde van duizend keer groter dan die voor ionen. Dit suggereert dat de deeltjes veel kleiner zijn dan atomen. Nederlandse natuurkundigen blijken later dan ook geneigd de ontdekking van het elektron aan Lorentz en Zeeman toe te schrijven.

In 1896 doet de Duitser Emil Wiechert de suggestie dat de kathodestrallen noch golven noch ionen zijn, maar de 'atomen der elektriciteit', dat wil zeggen de deeltjes der hypothetische elektrische substantie. Dit biedt een mogelijke verklaring voor het feit dat de straling metaalfolies kon penetreren. Datzelfde jaar verricht hij metingen aan de lading-massaverhouding en concludeert daaruit dat de deeltjes veel te klein zijn om voor ionen door te kunnen gaan.

In dezelfde tijd verricht zijn landgenoot Walter Kaufmann soortgelijke metingen, met dezelfde uitkomsten. Hij komt tevens tot het belangrijke resultaat dat de uitkomsten onafhankelijk zijn van zowel de chemische samenstelling van het gas als het materiaal waaruit de kathode is samengesteld. Helaas presenteert hij deze bevindingen enkel en alleen als een weerlegging van de ionenhypothese, waarmee hij het kind met het badwater weggooit.

Thomson daarentegen trekt uit zijn gelijksoortige metingen radicale conclusies. Hier is, zo beweert Thomson, de ultieme bouwsteen van de materie onthuld. Het lijkt geen twijfel dat Thomson zich in deze conclusie gesteund voelt door de bevindingen van Lorentz en Zeeman. Dankzij zijn superieure vacuümpomp slaagt hij er tevens in elektrostatische afbuiging aan te tonen. In 1899 lukt het hem bovendien de waarde van de lading direct te bepalen, hetgeen de schatting van de massa (en daarmee de grootte) een steviger fundament geeft.

De verbazend kleine waarde voor die massa en de eerdere tegenstrijdige claims staan de algemene acceptatie van de conclusies van Thomson nog lange tijd in de weg. Pas in de loop van de volgende eeuw ontstaat er geleidelijk aan enige consensus over de aard der kathodestraling. In dit proces spelen latere experimenten van verschillende onderzoekers een belangrijke rol. Maar ook zonder daar op in te gaan is het algemene punt nu wel duidelijk. Bij de ontdekking waren verschillende onderzoekers betrokken, en een tijdstip van ontdekking valt met geen mogelijkheid aan te wijzen. Men kan hooguit stellen dat Thomson door de wijze waarop hij zijn resultaten in woord en geschrift presenteerde een wat grotere rol heeft gespeeld in de uiteindelijke acceptatie van de nieuwe visie op de aard der kathodestraling. Het behoeft overigens geen betoog dat sinds Thomson diverse nieuwe fundamentele eigenschap-

pen aan elektronen zijn toegekend (bijvoorbeeld 'spin'), en dat dus zijn elektronen in zekere zin de onze niet zijn.

Het is opmerkelijk en veelzeggend dat tijdgenoten Thomson niet als de ontdekker van het elektron zagen, en überhaupt niet van een 'ontdekking' van het elektron repten. Het laatste woord is aan een van hen, namelijk de fysicus Owen Richardson, zelf een leerling van Thomson. Hij zei het in 1910 als volgt: "The electron theory may now be said to have developed far beyond the region of hypothesis. Discovery after discovery *during the last fifteen years* has established indubitably the existence of a negative electron whose properties are independent of the matter from which it originates." De ontdekking had in zijn ogen vijftien jaar geduurd.

#### 4 Vitamine B

Christiaan Eijkman ontving in 1929 de Nobelprijs voor zijn bijdragen aan de ontdekking der vitamines. In de jaren '90 van de voorafgaande eeuw had hij glashard het verband aangetoond tussen de ziekte *beri beri* en een deficiëntie van wat later vitamine B1 zou worden genoemd. Het verhaal van Eijkman, de kippen en de rijst is maar al te bekend. Het is onmogelijk om na te gaan in hoeverre dit verhaal een correcte weergave is van de 'ontdekkingsgeschiedenis'. Maar wat de kippen Eijkman ook mogen hebben geleerd, het hem later toegeschreven inzicht was dat zeker niet.

Eijkman werd in de jaren negentig aangesteld als directeur van het laboratorium voor onderzoek in pathologische anatomie en bacteriologie in Batavia. Zijn voornaamste taak bestond in het verrichten van onderzoek naar de oorzaak van *beri beri*, een aandoening die in de voorafgaande jaren epidemische vormen had aangenomen. Resultaten van eerder onderzoek hadden in de richting van een bacteriële ziekteverwekker gewezen, maar de sanitaire maatregelen die vervolgens waren genomen resulteerden niet in de verwachte verbetering van de situatie. De overlevering wil dat Eijkman geattendeerd werd op een plotseling optredende zenuwaandoening onder de kippen die werden gehouden op het terrein van het militaire hospitaal waarin zijn laboratorium was ondergebracht. Even snel als de aandoening opkwam verdween deze kort daarop weer.

Op zijn vraag of er iets veranderd was in de omstandigheden waaronder de kippen gehouden werden, kreeg Eijkman te horen dat ze tijdelijk waren gevoerd met restanten van voor de patienten gekookte rijst. Naar aanleiding van de kritiek dat het ongepast was kippen te voeren met deze luxe witte rijst was men weer teruggevallen op het gebruikelijke grove kippenvoer. In een serie van beroemd geworden onderzoekingen, waarin Eijkman experimenteerde met verschillende soorten voeding onder groepen kippen, vond hij een verband tussen aandoening, door hem pluimvee polyneuritis gedoopt, en de consumptie van geslepen rijst. Ook toonde hij aan dat het de rijstkorrel omgevende zilvervlies de cruciale factor was die ziekte en gezondheid bepaalde. Zieke kippen herstelden zodra het zilvervlies-slijpsel aan de hen toegediende geslepen rijst werd toegevoegd.

De symptomatische analogieën met de voor *beri beri* karakteristieke zenuwaandoeningen, leidden al snel tot de volgende stap. Eijkman verzocht Adolphe Vorderman, inspecteur der civiele geneeskundige dienst in Java, om onderzoek te doen naar de incidentie van *beri beri* in gevangnissen in relatie tot de aard van de door hen geconsumeerde rijst. De resultaten van deze epidemiologische studie toonden een overtuigende correlatie tussen *beri beri* en geslepen rijst. In 1897 publiceerde Eijkman twee Duitstalige artikelen, één over zijn kippenexperimenten en één over het epidemiologische onderzoek, in een gerenommeerd medisch tijdschrift.

Hoewel het verband tussen *beri beri* en een door geslepen rijst gedomineerd dieet nu tamelijk hard scheen, was Eijkman nog steeds onzeker over de aard van de oorzaak der ziekte. Aanvankelijk speelde hij met de gedachte dat het zilvervlies een tegengif zou kunnen bevatten voor een door een micro-organisme geproduceerde gifstof. Deze gifstof zou de oorzaak zijn

van de optredende zenuwaandoeningen. Mogelijk zou een zetmeelrijk rijstdieet resulteren in een voor de ziekteverwekker gunstig klimaat in de ingewanden van de besmette patiënt. Eijkman dacht, kortom, nog steeds in termen van een bacteriële aandoening.

Na Eijkman's terugkeer naar Nederland in 1896 werd zijn onderzoek aan pluimvee polyneuritis in het laboratorium voortgezet door zijn voormalige medewerker Gerrit Grijns. Deze toonde in de daarop volgende jaren aan dat niet alleen zilvervlies maar ook tal van inheemse peulvruchten en andere groenten bescherming boden tegen de ziekte. Deze bevindingen brachten Grijns op het idee van een voedseldeficiëntie, hoewel hij deze conclusie nuanceerde met de toevoeging dat een eventuele bijkomstige rol voor bacteriologisch gif niet kon worden uitgesloten. Maar de resultaten van voortgezette onderzoeken lieten steeds minder ruimte voor een bacteriologische ziekteverwekker. In 1910 concludeerde Grijns onomwonden dat door de verwijdering van het zilvervlies de rijst ontdaan wordt van een voedingsstof die noodzakelijk is voor het behoud van het perifere zenuwstelsel en dat *beri beri* veroorzaakt wordt door een gebrek aan dit 'voedsel voor de zenuwen'.

Intussen bleef de problematiek ook Eijkman bezig houden. In diverse geschriften toonde hij zich uiterst voorzichtig met betrekking tot de relatie tussen *beri beri* en voeding. Dat er een verband was viel nauwelijks te betwijfelen, maar van een direct oorzakelijk verband was hij allesbehalve overtuigd. Zo speelde hij nog steeds met de gedachte dat geslepen rijst *beri beri* zou bevorderen en dat er van het zilvervlies een beschermende werking zou uitgaan. Ook vergeleek hij de werking van het zilvervlies met die van kinine bij malaria. Hij bleef, kortom, spelen met de gedachte aan een bacteriële infectie. Zelfs toen hij door Grijns nieuwe resultaten gedwongen werd om de tekortkomingen van deze theorie toe te geven, bleef hij sceptisch over Grijns eigen verklaring.

Eijkmans ogenschijnlijke koppigheid vraagt om een nadere verklaring. Zijn afwijkende mening kwam voor een belangrijk deel voort uit zijn opvattingen over oorzaken van ziekten in het algemeen. Eijkman zag weinig in de mono-causale benaderingen van bacteriologen als Koch en Pasteur. Waar anderen, gewapend met Kochs postulaten, tot relatief snelle conclusies kwamen over mogelijke bacteriële oorzaken, dacht Eijkman eerder in termen van een combinatie van bacteriële infecties en omgevingsfactoren. Waar de ziekteverwekker enkel in combinatie met andere factoren zijn schadelijke invloed kon doen gelden, verloren Kochs postulaten aan kracht. Volgens Eijkman was het in dergelijke situaties onjuist om hetzij de microbe, hetzij één van die factoren tot dé oorzaak te bombarderen.

Maar naarmate hem in de daaropvolgende jaren meer lof werd toegezwaaid voor zijn *beri beri* onderzoek in relatie tot de voedingstheorie, verschoof zijn positie beetje bij beetje in de richting van acceptatie. In 1918 nam hij zelfs de vitamine-terminologie over en classificeerde hij *beri beri* voor het eerst in één categorie met andere avitaminoses als scheurbuik en rachitis. In zijn Nobel-voordracht van 1929 beschreef hij zijn oorspronkelijke experimenten en het daarop volgend epidemiologisch onderzoek volledig vanuit het vitamineperspectief. Hij karakteriseerde beide als cruciale experimenten, waarmee de preventieve en geneeskrachtige werking van de betreffende vitamine was aangetoond. De stof in kwestie was inmiddels in zuivere vorm geïsoleerd, overigens in hetzelfde laboratorium waar Eijkman zijn Indische onderzoek had verricht. Deze prestatie werd dan ook beschouwd als een fraaie bekroning van Eijkmans 'ontdekking'.

## 5 Mendelwetten

In de maanden februari en maart van het jaar 1865 presenteert de Augustijner monnik Gregor Mendel zijn beroemd geworden kruisingsexperimenten met erwten voor het lokale natuurwetenschappelijke genootschap in Brno. Het jaar daarop verschijnt zijn verslag in het tijdschrift van de vereniging. Het gaat hier om historische gebeurtenissen, want hier deden de Mendelwetten hun intrede in de biologie. Wij mogen Mendel nu vereren voor deze grootse ontdek-

king, zijn werk blijft in zijn eigen tijd lange tijd onopgemerkt. Eerst in 1900 worden in drie vrijwel gelijktijdige verschenen publicaties – van respectievelijk Hugo de Vries, Carl Correns en Erich Tschermak – dezelfde resultaten opnieuw voor het voetlicht gebracht. Alle drie geven ze aan vlak voor de completering van hun werk een voorganger ontdekt te hebben in een onbekend gebleven monnik. Mendels herontdekte inzichten worden vervolgens tot grondslag voor de moderne erfelijkheidsleer.

De kern van de Mendeliaanse theorie is dat de reproductieve cellen van levende organismes ‘factoren’ (tegenwoordig allelen) bevatten die verantwoordelijk zijn voor de overerving van bepaalde eigenschappen. Deze factoren treden steeds paarsgewijs op, waarbij steeds een factor afkomstig is van elk der beide ouders van een individu. De factoren kunnen (ondermeer) worden onderscheiden in dominante en recessieve. Een dominante factor komt altijd tot uitdrukking in de zichtbare kenmerken van het individu, een recessieve alleen dan wanneer zijn metgezel eveneens recessief is. Deze theorie geeft op fraaie wijze rekenschap van de statistische verdelingen van eigenschappen in het nageslacht bij kruisingen.

Beschouw de kruising van een ouder met enkel dominante factoren voor een bepaalde eigenschap en een ouder met alleen recessieve factoren (homozygoten), corresponderend met bijvoorbeeld Mendels kruisingen van groene (dominant) en gele (recessief) erwten. De nakomelingen zullen alle groen zijn. Kruisen we de nakomelingen onderling dan krijgen we vervolgens de bekende Mendeliaanse verhouding in het nageslacht, namelijk groen : geel = 3 : 1.

Vinden we deze redeneringen in Mendels werk geëxpliciteerd? Niet precies, nee. Sterker nog, er is nergens in zijn geschriften sprake van paren erfelijkheidsdragers. Er zijn duidelijke aanwijzingen dat hij niet consequent in termen van paren dacht. Wanneer naar zijn inzicht twee verschillende factoren, zeg A en a, in een plant verenigd waren, noteert hij netjes Aa. Maar in het geval van homozygote planten noteert hij enkel A of a, in plaats van AA of aa. Verder valt op dat waar Mendel refereert aan paren het niet gaat om erfelijkheidsdragers, maar enkel om zichtbare eigenschappen, zoals groen en geel. Is er in zijn opvattingen eigenlijk wel sprake van een onderliggend mechanisme? Een aantal voor de hand liggende controlekruisingen die dit mechanisme treffend zouden kunnen illustreren worden opmerkelijk genoeg nooit door hem uitgevoerd. Bovendien bevat zijn werk onbegrijpelijke vaagheden voor iemand die het onderliggend mechanisme van paarvorming en segregatie van erfelijkheidsdragers daadwerkelijk begrijpt.

Er is nog iets vreemds aan de hand. Volgens het klassieke verhaal liep zijn onderzoek uiteindelijk dood op zijn overstap naar een nieuwe onderzoeksplant: het havikskruid. Deze soort bezit een uiterst ingewikkeld overervingspatroon waarin de gangbare Mendeliaanse verhoudingen volledig zoek lijken. Maar uit recent onderzoek komt naar voren dat Mendels enthousiasme veeleer zijn havikskruid-experimenten dan zijn eerdere erwtenkruisingen gold. Langzamerhand beginnen we steeds wantrouwiger te worden. Waarmee was Mendel in vredesnaam bezig?

Het meest plausibele antwoord op deze vraag luidt als volgt: het ging hem primair om de vorming van stabiele nieuwe plantensoorten door kruising van bestaande. Een dergelijk streven vinden we veelvuldig onder negentiende-eeuwse plantenkwekers. In dit licht wordt zijn teleurstelling over de resultaten van zijn kruisingen van erwten begrijpelijk. Deze resulteren immers niet in nieuwe vormen die bij verdere kruising onveranderlijk blijven. Integendeel, elk bastaardproduct produceert uiteindelijk weer de oudervormen. Voor Mendel impliceert dit een ongewenste terugval naar de uitgangssituatie. Bij het havikskruid ontstaan daarentegen een aantal nieuwe vormen die stabiel lijken dan de erwtenbastaarden. Deze resultaten schijnen hem aldus beloftevoller. Dit verklaart tevens waarom zijn tijdgenoten niet onder de indruk zijn van zijn experimenten: de resultaten zijn eenvoudigweg niet indrukwekkend naar de maatstaven van die tijd.

Als Mendel niet op zoek was naar erfelijkheidsprincipes, dan is het ook niet verbazend dat hij,



die er in onze ogen zo dicht bij zat, ze uiteindelijk gemist heeft. Het misverstand komt onder meer voort uit de opmerkelijke kwantitatieve aanpak die Mendel volgt. Waar andere plantenkwekers zich enkel richten op mogelijk interessante bastaarden, houdt Mendel nauwgezet de aantallen van alle uit zijn kruisingen voortgekomen planten bij en berekent hij daarenboven de verhoudingen van de verschillende verschijningsvormen. Het is vooral deze kwantitatieve benadering geweest die verantwoordelijk is voor de klassieke duiding van Mendels werk. Vermoedelijk hangt deze ongebruikelijke aanpak samen met Mendels natuurkundige achtergrond en zijn kennis van statistiek. Zo heeft hij zich ook langdurig met meteorologisch onderzoek beziggehouden. Hier vinden we dezelfde combinatie van praktische oogmerken en het gebruik van statistische methoden.

Het nieuwe beeld van Mendels werkelijke intenties verschuift het probleem van de ontdekking. Als Mendel de Mendelwetten niet ontdekte, wat hebben de latere herontdekkers dan eigenlijk herontdekt? Laten we de eerste en invloedrijkste van hen, onze landgenoot Hugo de Vries, eens wat nader bestuderen. Evenals Mendel is ook De Vries geïnteresseerd in de vorming van nieuwe soorten. Maar anders dan Mendel ziet De Vries in biologische erfelijkheids-theorieën de sleutel tot de beheersing van het veredelingsproces.

Reeds voordat hij op Mendels werk stuit, heeft De Vries een dergelijke theorie ontwikkeld. Het gaat hier in wezen om een aangepaste versie van Darwins theorie der erfelijkheid. Evenals Darwin veronderstelt De Vries dat het organisme talloze uiterst kleine deeltjes bevat, die als erfelijkheidsdragers fungeren. Maar waar Darwin deze deeltjes gevoelig maakte voor omgevingsfactoren en ze door het organisme liet circuleren, beschouwt De Vries zijn zogenaamde pangenen als onveranderlijk en gebonden aan de celkern. Daarbij bevat iedere cel een identieke verzameling pangenen. Deze verzameling pangenen acht hij niet alleen karakteristiek voor het individu, maar in principe zelfs voor de soort. Individuen binnen een soort verschillen van elkaar in het aantal kopieën dat van ieder pangen in de cel aanwezig is.

Bij voortplanting binnen de soort worden de identieke pangenen van beide ouders met elkaar gecombineerd, zodat het nageslacht dus met dezelfde verzameling pangenen wordt uitgerust. Verschillen tussen ouders en nakomelingen, en tussen nakomelingen onderling, verklaart De Vries in termen van de verschillen in het aantal kopieën van een pangen bij elk der ouders. Dit aantal bepaalt namelijk de 'erfelijke kracht' waarmee een specifiek kenmerk in het nageslacht tot uitdrukking komt. Het aantal kopieën wordt zelf weer bepaald door externe factoren als bijvoorbeeld voeding en standplaats. Planten die onder invloed van dergelijke factoren krachtiger groeien, ontwikkelen meer kopieën en drukken daardoor sterker hun stempel op het nageslacht.

Nieuwe soorten kunnen volgens De Vries enkel ontstaan wanneer er een geheel nieuw pangen werd gevormd. Een dergelijke abrupte transformatie noemt De Vries een *mutatie*. Soortverandering is dus niet een geleidelijk proces, maar één dat binnen een generatiewisseling plaatsvindt. Hiermee meent De Vries een verklaring te hebben gegeven voor het evolutieproces. Deze evolutietheorie zal bekend worden onder de naam mutatietheorie.

Maar wat heeft dit alles met de Mendelwetten te maken? Bovenstaande ideeën heeft De Vries ontwikkeld gedurende een periode van vijftien jaar voorafgaand aan zijn Mendelwettenpublicatie. Vermoedelijk stuit De Vries in of vlak voor 1900 op Mendels werk en ziet hij in hoe Mendels resultaten hem kunnen helpen bij het begrijpen van sommige van zijn eigen kruisingsexperimenten. Het gaat hier dan specifiek om kruisingen tussen verschillende variëteiten, waarbij in één (of enkele) van de aanwezige pangenen een mutatie is opgetreden. De Mendelwetten werpen hierbij licht op de variatie in verschijningsvormen in het nageslacht. Maar volgens De Vries geldt het verklaringsbereik van die wetten slechts deze uitzonderlijke situatie. Bij kruisingen tussen verschillende soorten zijn de verzamelingen pangen te zeer verschillend voor toepassing van deze wetten. En belangrijker nog, bij de 'gewone' erfelijkheid, waarbij ouders hun kenmerken op hun kinderen overdragen, kunnen de Mendelwetten geen

zinnvolle rol spelen, daar de pangenen van beide kanten volledig identiek zijn. Dit standpunt verschilt radicaal van het huidige, dat juist de variëteit in het genetisch materiaal van beide ouders benadrukt (in onze ogen zijn namelijk alle individuen van een soort genetisch verschillend), en daardoor de Mendelwetten ook op de 'gewone' erfelijkheid van toepassing acht. De huidige visie op de Mendelwetten ontwikkelt zich eigenlijk pas in de jaren twintig wanneer de evolutieleer en de moderne genetica met elkaar verenigd worden in de zogenaamde evolutionaire synthese. Het voert te ver om dit proces hier uiteen te zetten. Voor de beide andere herontdekkers kan hun (her)ontdekking op vergelijkbare wijze gerelativeerd worden. Als men vast wil houden aan een rol voor Mendel in de ontdekking van de Mendelwetten, en dat lijkt verdedigbaar, dan duurde die ontdekking ongeveer zestig jaar.

## 6 Universele zwaartekracht

Newton geldt sinds jaar en dag als de ontdekker van de universele gravitatie, de wederzijdse aantrekkingskracht tussen alle lichamen in de wereld. De richting van de kracht is die van de rechte verbindingslijn van de twee elkaar aantrekkende voorwerpen; in grootte is de kracht evenredig met de massa's der lichamen en omgekeerd evenredig met de afstand tussen die lichamen. Deze kracht is verantwoordelijk voor het vallen van stenen, maar evenzeer voor de beweging van manen rond planeten en van planeten rond de zon. Op hogere leeftijd gaf Newton zelf aan wanneer hij tot zijn ontdekking kwam, namelijk in het jaar 1666. Hij suggereerde zelfs de aanleiding voor de ontdekking: de observatie van een vallende appel.

Nu publiceerde Newton zijn theorie pas in 1687, dus zou er aanleiding kunnen zijn om zijn nog veel later gemaakte aanspraken op een vroegtijdige ontdekking met een korreltje zout te nemen. Maar zie daar: tussen zijn nagelaten papieren bevindt zich een manuscript, vermoedelijk uit 1666, dat Newtons uitspraken lijkt te ondersteunen. Met enige moeite kan hierin het idee van een aantrekking van de maan door de aarde en die van de planeten door de zon als verklaring voor hun baanbeweging worden teruggevonden. Sterker nog, die aantrekking is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand. Dus toch?

Nadere beschouwing leert dat de zaak ingewikkelder ligt. Newton vergelijkt de valversnelling van een lichaam nabij het aardoppervlak met de centrifugale tendentie van de maan. De laatste is vierduizend keer zo klein als de eerste, terwijl de afstand van het middelpunt van de aarde tot maan zestig keer zo groot is als de afstand van dat middelpunt tot het aardoppervlak. Dat is redelijk, zij het niet exact, in overeenstemming met een omgekeerde kwadratenverhouding. Hoe kwam hij aan die relatie? Ongetwijfeld heeft hij die afgeleid uit de door hem gevonden uitdrukking voor de centrifugale kracht en de derde wet van Kepler. Volgens de laatste is de derde macht van de afstand tussen een planeet en de zon evenredig aan het kwadraat van de omlooptijd. De centrifugale tendentie van de planeten is evenredig met het kwadraat van hun snelheid en omgekeerd evenredig met hun afstand tot de zon. Gecombineerd met Keplers wet resulteert dit in een tendentie die omgekeerd evenredig is met het kwadraat van de afstand.

Twee punten zijn hier vermeldenswaard. In de eerste plaats beschouwt Newton *centrifugale* krachten in plaats van *centripetale* krachten. Vermoedelijk meende hij dat ter compensatie van de centrifugale krachten aantrekkende krachten nodig waren (vergelijk de vallende lichamen), waarvoor dus dezelfde uitdrukking zou moeten gelden. En het tweede punt is dat Newton tot in de jaren tachtig zich meermalen baseert op de wijd verbreide gedachte dat zowel manen als planeten voortbewogen worden door grote kosmische wervels in de zogenaamde hemelse materie. Maar Newtons theorie werd toch juist geacht een alternatief te bieden voor deze kosmische wervels?

Newton's oorspronkelijke gedachte was waarschijnlijk als volgt. De planeten (manen) worden voortbewogen door de rond de zon (planeet) bewegende materie. Deze rondgaande beweging gaat gepaard met centrifugale krachten. Als compensatie moet er daarom tevens een even

grote, maar tegengestelde kracht op de planeet (maan) werken. In dit scenario is het niet één kracht die de planetenbeweging bepaalt, maar zijn het er liefst drie. Deze gedachte was eerder geopperd door de geleerde Borelli. Mogelijk werd in Newtons visie de centripetale kracht veroorzaakt door de wervelmaterie, die dan een neerwaartse druk zou uitoefenen, of zoals hij elders suggereerde door een soort neerwaartse hagen van minuscule deeltjes.

Duidelijk is hoe dan ook dat er in dit stadium geen sprake is van een *wederzijdse* aantrekking tussen lichamen van *willekeurige* grootte in een (vrijwel) *lege* ruimte. We hebben in Newtons vroege concepties te maken met een gevulde ruimte, en een eenzijdige kracht gericht op grote hemellichamen. Een niet onbetekenend detail, ten slotte is dat de door Newton gezochte overeenstemming niet exact was. Mogelijk heeft dat meegespeeld in het gegeven dat hij dit thema jarenlang gelaten heeft voor wat het was. Blijkbaar had hij niet het idee op iets wezenlijk nieuws te zijn gestuit.

Meer dan tien jaar later duikt het onderwerp weer op in een correspondentie met Robert Hooke, de nieuwe secretaris van de Royal Society. In een van zijn brieven aan Newton oppert Hooke de gedachte dat de planetenbeweging het resultaat zou kunnen zijn van enkel een inertiaalbeweging en een kracht in de richting van zon, in grootte omgekeerd evenredig aan het kwadraat van de afstand tot de zon. Hij daagt Newton, de hoogleraar wiskunde, uit om te bepalen of deze aanname zou resulteren in de door Kepler veronderstelde ellipsbaan. Vermoedelijk heeft hij, evenals Newton jaren daarvoor, Keplers derde wet gecombineerd met de uitdrukking voor de centrifugale kracht. Belangrijker is dat hier voor het eerst het probleem in de correcte termen geformuleerd wordt. Slechts één kracht zou moeten volstaan voor de beweging der planeten en manen. De ultieme test voor dit vermoeden is het aantonen van een verband met de ellipswet van Kepler. Dit vergt wiskundige capaciteiten die die van Hooke verre overtroffen. Newton daarentegen slaagt er wel in dit verband hard te maken, overigens zonder Hooke daarvan op de hoogte te stellen. Maar ook dit keer geeft hij zijn berekeningen geen vervolg.

In 1684 bezoekt de astronoom Halley Newton in Cambridge en legt hem hetzelfde probleem voor als Hooke vijf jaar eerder deed. Newton kan op dat moment zijn eerdere berekeningen niet meer terugvinden, maar belooft hem een bewijs te sturen van het verband tussen de veronderstelde kracht en de ellipsbaan. Het bewijs dat Halley later in London ontvangt blijkt reeds onderdeel te zijn geworden van een klein traktaatje, met nog veel meer wiskundige resultaten. Newton is inmiddels volledig door het probleem gegrepen. Hij werkt dag en nacht aan dit nieuwe thema, en geleidelijk aan begint de theorie vorm te krijgen. Langzaam maar zeker dringt de gedachte aan een wederzijdse aantrekking zich aan hem op. Dit compliceert de zaken enorm, want het impliceert onder andere dat de planeten ook de zon en zelfs elkaar aantrekken. Ook komt Newton nu pas tot de evenredigheid van de kracht met de massa's van de wisselwerkende objecten. Minstens zo belangrijk is dat in dit proces ook Newtons mechanica geleidelijk aan vorm krijgt. Immers enkel door combinatie met Newtons bewegingsleer bezit de theorie de grote betekenis die aan haar toegeschreven is.

Als Hooke lucht krijgt van Newtons boek in wording, eist hij via Halley dat hem in dat boek recht zal worden gedaan. In zijn visie dankt Newton 'de theorie' aan hem. Newton reageert uiterst verontwaardigd. In zijn ogen was Hooke's suggestie weinig meer dan een gelukkige slag in de lucht geweest, had hij zelf een soortgelijk vermoeden al veel en veel eerder geuit, en krijgt een en ander pas werkelijk betekenis door harde wiskundige bewijzen, en de vele aanvullende toepassingen in zijn werk. Dat laatste is goed verdedigbaar, het tweede punt is twijfelachtig.

Het moge al met al duidelijk zijn dat 'de' ontdekking van 'de' gravitatie theorie niet op een tijdstip te lokaliseren valt. Dé gravitatie theorie bestaat helemaal niet. Newtons opvatting over de gravitatie heeft tussen 1666 en 1686 een aantal belangrijke veranderingen ondergaan. Mogelijk heeft Hooke een belangrijke of zelfs essentiële bijdrage aan dit proces geleverd. Desal-

niettemin blijft het redelijk om Newton te zien als de *auctor intellectualis* van de uiteindelijke theorie. De term ontdekking lijkt wederom ongepast. Deze geschiedenis laat overigens tevens zien waarom het voor Newton zelf belangrijk was om ‘de ontdekking’ in 1666 te lokaliseren. Daarmee waren immers alle prioriteitsaanspraken van Hooke ontmanteld. De mythe van de instantane ontdekking speelt een essentiële rol in de toewijzing van het geestelijk eigendomsrecht.

### Conclusie

Bovenstaande voorbeelden van beroemde ontdekkingen ontcrachten het beeld van de ontdekking als een momentane gebeurtenis. In al deze gevallen is duidelijk sprake van een ingewikkeld proces waarbij geleidelijk iets uitkristalliseert dat wij met enige goede wil herkennen als het ‘ontdekte’. In veel gevallen leveren verschillende onderzoekers een bijdrage aan dit proces, zodat eigenlijk niet met recht gesproken kan worden over dé ontdekker. De vraag blijft natuurlijk in hoeverre deze voorbeelden illustratief zijn voor dé wetenschappelijke ontdekking. Wellicht zal de lezer onmiddellijk een aantal andere ontdekkingen te binnen schieten, die wel het karakter van een gebeurtenis lijken te bezitten. Een reactie daarop zou kunnen zijn: noem mij uw ontdekking en ik zal haar ontrafelen. Voor alle zekerheid: voor de inertiaalbeweging, de bacterie, de fotosynthese, de condensator, de Coulombwetten, dinosauriers, energiebehoud, Darwiniaanse evolutie, het Zeeman-effect, de röntgenstraling, radioactiviteit, energiekwantisatie, het muon, de zwakke neutrale stroom en zo nog het een en ander is dit al gebeurd. Zinvoller lijkt het om argumenten te geven die de gebeurtenisvisie op voorhand onwaarschijnlijk maken.

Bij wetenschappelijke ontdekkingen gaat het in de regel om tot dan toe onbekende concepten, objecten of verschijnselen. In dit opzicht verschillen ze van huis-, tuin- en keukenontdekkingen zoals de ‘ontdekking’ van mijn verloren gewaande sleutels in mijn jaszak of een muis in het keukenkastje. Als een onderzoeker met een nieuw verschijnsel geconfronteerd wordt, dan moet hij dit eerst als een nieuw en interessant fenomeen herkennen. Dit lijkt triviaal, maar is het niet. Bij vrijwel alle beroemde experimentele ontdekkingen kan men er gevoeglijk van uitgaan dat de daarmee samenhangende verschijnselen eerder door anderen zijn waargenomen, zij het zonder dat die waarnemers er enige betekenis aan toekenden. De al talloze malen waargenomen, maar als ster geïdentificeerde Uranus levert hiervan een treffend voorbeeld. De grootheid van Herschel en Priestley is vooral gelegen in hun vermogen een nieuw verschijnsel als nieuw te herkennen.

Vervolgens moet de onderzoeker er zichzelf veelal van overtuigen dat het nieuwe verschijnsel geen artefact is van zijn apparatuur of andere in het spel zijnde factoren. De Nederlandse natuurkundige Zeeman kon moeiteloos een aantal redenen bedenken die tot een kunstmatige verbreding van de spectraallijnen (het Zeeman-effect) zouden kunnen leiden. Eliminatie van deze mogelijkheden vereist in de regel het verrichten van verdere proefnemingen.

Vervolgens dient het nieuwe effect nog geïnterpreteerd te worden. Ook hier valt de onderzoeker in het algemeen terug op oude, reeds bekende categorieën. Zo zag Herschel in de bewegende ster een komeet (nieuwe kometen waren in tegenstelling tot nieuwe planeten een vertrouwd verschijnsel), Priestley in zuurstofgas NO<sub>2</sub>, Eijkman in de ziekteverwekker van *beri beri* een microbe, en de negentiende-eeuwer in kathodestraling hetzij deeltjes van atomaire omvang, hetzij ethergolven. Pas als men onder invloed van nieuwe resultaten tot het besef komt dat de bestaande categorieën falen in het begrijpen van een nieuw verschijnsel, kan men tot werkelijk nieuwe duidingen komen. Maar dit is des te lastiger, omdat daarvoor veelal een nieuw begrippenapparaat ontwikkeld dient te worden.

Ten slotte moet de nieuwe gedachte ook nog ‘verkocht’ worden aan vakgenoten. In de geschiedenis wemelt het immers van de claims van ontdekkingen die nooit ontdekkingen geworden zijn, omdat deze claims eenvoudigweg niet geaccepteerd zijn. Denk bijvoorbeeld al-

leen al aan de honderden ‘ontdekte’ perpetuum-mobile’s. Ook zal niemand beweren dat enkele jaren geleden Pons en Fleischman de ‘koude kernfusie’ *ontdekt* hebben. De huidige consensus is immers dat die niet bestaat. Een ontdekking is pas een ontdekking als de relevante wetenschappelijke gemeenschap die als zodanig bestempelt.

Al met al lijkt het uiterst onwaarschijnlijk dat al deze stappen, die deel uitmaken van het ontdekkingsproces, gecombineerd kunnen worden tot één enkel moment. Voor theoretische ontdekkingen gelden vergelijkbare overwegingen. De interne structuur van ontdekkingen vraagt eenvoudigweg om tijd. De traditionele opvatting van ontdekkingen getuigt niet zozeer van overschatting van de ontdekkers als wel van onderschatting van de moeilijkheden die in dit proces overwonnen moeten worden.

Als bovenstaande analyse juist is, dan dringt de vraag zich op waarom de wetenschappelijke gemeenschap het traditionele beeld zo sterk koestert. Wat is de functie van dat beeld? Het antwoord ligt voor de hand. Wetenschappelijke reputaties zijn sterk gekoppeld aan de notie van aan personen gebonden ontdekkingen. Wij kennen de grote wetenschappers uit het verleden vooral door hun ontdekkingen. Ontdekkingen worden zo tot eigendommen, waarop onderzoekers aanspraak kunnen maken. In talloze moderne begrippen klinkt dit door. We spreken van de wet van Boyle, de Coulombkracht, de Mendelwetten, de Maxwell-vergelijkingen enzovoort. Veel van deze wetenschappers danken dus hun onsterfelijkheid aan het traditionele ontdekkingsconcept.

Maar ook vóór hun dood kunnen zij profiteren van aan hen toegeschreven ontdekkingen. Voor ontdekkers gaan vele deuren open die voor anderen gesloten blijven. De felste controverses tussen wetenschappers komen dan ook niet voort uit inhoudelijke verschillen in inzicht maar uit prioriteitsaanspraken. Een berucht voorbeeld is de ruzie tussen Leibniz en Newton die elkaar de prioriteit in de ‘ontdekking’ van de infinitesimaalrekening betwistten. Meer recentelijk speelde een al even weinig verheffende prioriteitsstrijd inzake de ontdekking van het Aids-virus.

In de voorwaarden voor de toekenning van de Nobelprijzen voor de natuurwetenschappen wordt nadrukkelijk gesproken over ‘ontdekkingen’. Iemand die alom erkende, briljante bijdragen heeft geleverd aan zijn vakgebied, maar niets ontdekt heeft, zou strikt genomen buiten de prijzen horen te vallen. Evenals een uitzonderlijk vroom en deugdzaam persoon zonder verrichte wonderen nooit zalig kan worden verklaard voor bijzondere daden van medemenselijkheid. In de praktijk wordt creatief met dit probleem omgegaan. Lorentz kreeg de prijs niet voor zijn elektronentheorie, maar voor zijn theoretische verklaring van het Zeeman-effect; Einstein niet voor zijn relativiteitstheorieën, maar voor het door hem voorgestelde en inmiddels experimenteel geverifieerde verband tussen de bewegingsenergie van vrijgemaakte elektronen en de golflengte van het daartoe gebruikte licht. Toen Heisenberg, een van de hoofdrolspelers in de ontwikkeling der kwantummechanica, de prijs kreeg grapte Pauli dat het hier om zijn hydrodynamische dissertatie moest gaan.

Wetenschappers hebben, kortom, baat bij het traditionele beeld. De beloningsstructuren in de wetenschappelijke wereld zijn er voor een deel op gefundeerd. Bovendien wordt het hen van jongs af aan met de paplepel ingegoten door middel van de leerboeken waaruit zij hun kennis hebben opgediept. Maar wat dan nog, is de voor de hand liggende tegenvraag. Waarom zouden we hieraan moeten tornen? Is dat beeld dan zo schadelijk?

Wel als het erom gaat studenten duidelijk te maken hoe wetenschappelijk onderzoek werkt en wat de status is van de resultaten van dat onderzoek. Wetenschappelijke kennis ontstaat door passen en meten, puzzelen en knutselen, en niet door één enkele waarneming of door een plotselinge gedachteflits. Dat laatste beeld reduceert wetenschappelijke claims tot iets volstrekt onproblematisch en draagt dan ook weinig bij tot bijvoorbeeld een kritische beoordeling van stellige uitspraken van wetenschappelijke deskundigen.

Daarnaast gaat er iets demotiverends uit van het klassieke beeld. De gemiddelde student zal

zich gemakkelijker herkennen in de wetenschapper die zijn eigen, tijdgebonden oplossing aanreikt voor een probleem waarvan op dat moment de reikwijdte niet te overzien is, dan in het bovenmenselijk genie dat met enige regelmaat tijdloze konijnen uit een hoge hoed tovert. In die zin is het bestaande beeld elitair en zelfs wat intimiderend. Als wetenschap niet gepresenteerd wordt als in de eerste plaats mensenwerk, dan is het niet verbazend dat weinig mensen zich geroepen zullen voelen aan dergelijk werk bij te dragen.

Vrees voor relativisering van wetenschappelijke resultaten lijkt in dit verband ongegrond. Er is niemand die weigert in een vliegtuig te stappen, omdat hij zich realiseert dat dit vervoermiddel door mensen geconstrueerd is. Net als in het geval van wetenschappelijke theorieën is er in de regel voldoende aanleiding om te menen dat de constructie degelijk en betrouwbaar is. Wetenschappelijke theorieën die niet werken, redden het op de lange duur net zomin als vliegtuigen die naar beneden vallen. Laten we daarom de grote wetenschappers uit het verleden waarderen voor wat ze gedaan hebben, en niet voor wat ze menselijkerwijs nooit hadden kunnen doen.

### **Literatuur**

- Kuhn, T. (1977). The historical structure of scientific discovery. In *The Essential Tension* (pp. 165-177).
- Schaffer, S. (1986). Scientific discoveries and the end of natural philosophy. *Social Studies of Science* 16, 387-420.
- Falconer, I. (1987). Corpuscles, electrons and cathode rays: J.J. Thomson and the 'discovery of the electron'. *British Journal for the History of Science* 20, 241-276.
- Arabatzis, T. (1996). Rethinking the 'discovery' of the electron'. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 27B, 405-435.
- Kamminga, H. (1998). Credit and resistance: Eijkman and the transformation of beri-beri into a vitamin deficiency disease. In K. Bayertz & R. Porter, *From Physico-Theology to Bio-Technology* (pp. 232-254).
- Theunissen, B. (1997). Ontdekte Mendel de wetten van Mendel? In B. Theunissen & C. Hakfoort (Red.), *Newtons god en Mendels bastaarden* (pp. 99-122).
- Van Lunteren, F. (1997). Newtons God en Newtons gravitatie. In B. Theunissen & C. Hakfoort (Red.), *Newtons god en Mendels bastaarden* (pp. 39-69).
- Pinch, T. & Collins, H. (1998). *The Golem: What You Should Know about Science*.