

Deze download is uitsluitend voor eigen gebruik bedoeld.
Doorsturen per e-mail of anderszins, kopiëren, op websites of anderszins op internet plaatsen, of verhandelen is niet toegestaan.

De boeken van Uitgeverij Nieuwezijds zijn verkrijgbaar
in de boekhandel en via www.nieuwezijds.nl

*Diesels droom en
Donders' bril*

HOE WETENSCHAP WERKT

Bert Theunissen



UITGEVERIJ NIEUWEZIJD'S

Uitgegeven door: Uitgeverij Nieuwezijds, Amsterdam
Omslagontwerp: Marjo Starink, Amsterdam
Afbeelding omslag: Mariet Numan, Amsterdam
Zetwerk: CeevanWee, Amsterdam

Copyright © 2004, Bert Theunissen

ISBN 90 5712 199 9

NUR 910

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, geluidsband, elektronisch of op welke andere wijze ook en evenmin in een retrieval system worden opgeslagen zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voorwoord

Het idee voor dit boek ontstond toen de eerste leerboeken voor het schoolvak Algemene Natuurwetenschappen (ANW) op de markt kwamen. Doel van ANW is de leerlingen uit te leggen ‘hoe wetenschap werkt’. Het zijn leuke boeken en je leert er veel van, over de natuurwetenschappen en over de maatschappelijke betekenis van kennis. Maar de vraag hoe wetenschap werkt, beantwoorden de meeste methodes niet, of niet goed. Over veel populair-wetenschappelijke literatuur kun je hetzelfde zeggen: leerzaam en interessant, maar onbevredigend als je wilt weten hoe wetenschap werkt.

Sommige ANW-leerboeken gebruiken de geschiedenis van de wetenschap om duidelijk te maken hoe kennis tot stand komt. De wetenschapsgeschiedenis leent zich daar inderdaad uitstekend voor. De manier waarop de leerboeken met historisch materiaal omspringen, laat echter veel te wensen over. Er is dan ook stevige kritiek geuit.

Maar alleen kritiek leveren op niet-specialisten – want dat zijn de leerboekenschrijvers – is niet genoeg. Je moet ook met voorbeelden laten zien hoe je denkt dat het wel moet. Dat probeer ik hier te doen. Dit boek is bedoeld voor een algemeen publiek, maar ik hoop dat in het bijzonder ANW-docenten, docenten Natuur en Gezondheid, en andere ‘inter-

mediairs in de wetenschapscommunicatie' er iets aan hebben.

Ik dank mijn Utrechtse collega's voor hun adviezen en commentaar.

Maurik, zomer 2004

Voor Sanne

Inhoud

I	Inleiding	II
	<i>Kennis in de maak</i>	
2	Flemings penicilline	15
	<i>Hoe doe je een ontdekking?</i>	
3	Darwins vinken	29
	<i>Van waarneming naar theorie, en terug</i>	
4	Joule's meetkunst	47
	<i>Door meten tot weten?</i>	
5	Diesels droom	59
	<i>Van theorie naar toepassing</i>	
6	Wie gelooft er in telepathie?	75
	<i>De betrouwbaarheid van een experiment</i>	
7	Donders' wetenschappelijke bril	89
	<i>Wetenschap als bondgenoot</i>	
8	Morgans fruitvliegen	101
	<i>'The making of' het ideale proefdier</i>	
9	Pasteurs geheim	117
	<i>Achter de schermen van de roem</i>	
10	Twee keer van aap tot mens	129
	<i>Wetenschap en cultuur</i>	
11	Epiloog	147
	<i>Hoe werkt wetenschap?</i>	
	Verantwoording	156

I

Inleiding

Kennis in de maak

Natuurwetenschappers zijn nerds. Ze houden zich bezig met saaie, abstracte onderwerpen en moeten erg hard werken. Het maatschappelijk aanzien van een wetenschapper is maar zozo, en rijk word je er niet van. Je moet dus wel een beetje wereldvreemd zijn om exact te kiezen als je een behoorlijk stel hersens hebt.

Natuurwetenschappers zijn helden van de geest. Ze werken aan de grenzen van het weten. Met hun briljante invallen vergroten ze ons inzicht in de natuur. Ze ontdekken dingen die levens redden en de maatschappij vooruitbrengen. Natuurlijk gaat het ze niet om geld. Ze doen het om de mensheid te helpen. De beloning is eeuwige roem.

Natuurwetenschappers moet je scherp in de gaten houden. Ze zeggen dat ze de waarheid blootleggen. Ze vinden niet dat ze verantwoordelijk zijn voor de gevolgen, want de waarheid is niet goed of slecht. Daardoor zitten wij nu met de atoombom en met een gat in de ozonlaag. En wie weet wat ons nog meer boven het hoofd hangt, nu wetenschappers beginnen te sleutelen aan de oercode van het leven.

De wetenschapper als nerd, als held of als gevaar voor de mensheid. Het zijn stereotypen natuurlijk, maar ze zeggen iets over het beeld dat veel mensen van natuurwetenschap-

pers hebben. De karikatuur van de nerd werkt als antireclame voor de exacte vakken. Het gaat slecht met de belangstelling voor bètastudies, en deels komt dat door het suffige imago dat natuuronderzoekers hebben. Het beeld van de held duikt nog steeds op in populaire literatuur en tv-programma's over wetenschap. En tot slot vinden niet alleen kritische actiegroepen dat wetenschap gevaarlijk kan zijn, maar ook veel bezorgde burgers.

Hoe ze wetenschappers ook zien, de meeste mensen erkennen voluit dat de maatschappij niet zonder natuurwetenschappelijke kennis kan. En dat de invloed van die kennis alleen maar groter wordt. Wetenschap is al lang niet meer een exclusieve zaak van de universiteiten en de industrie. Iedereen krijgt ermee te maken. En heel direct – kijk maar naar de ontwikkelingen in de gentechnologie. Wij hebben daarom niet alleen goede onderzoekers nodig, maar ook goed geïnformeerde burgers. Zodat bij democratische besluitvorming over wetenschappelijke ontwikkelingen iedereen zijn standpunt kan bepalen.

Voorwaarde is wel dat de natuurwetenschappen op hun waarde worden geschat. Aan het negatieve nerd-imago moet iets gebeuren als we geen kennisachterstand willen oplopen. Het beeld van de onderzoeker als belangeloze held is geen alternatief. Het is niet meer aantrekkelijk en niet meer geloofwaardig. Aan de andere kant is het beeld van de wetenschapper als dr. Frankenstein net zo goed overtrokken. Het is al lang niet meer zo dat alles wat kan ook mag.

Om nieuwe ontwikkelingen in het wetenschappelijk onderzoek te kunnen beoordelen, moet je er iets van afweten. Maar feitenkennis is niet het enige. Zeker zo belangrijk is inzicht in hoe die kennis tot stand komt, wat je wel en niet van wetenschappelijk onderzoek mag verwachten, en hoe je de resultaten moet interpreteren. Wie begrijpt hoe iets gemaakt

wordt, is beter in staat zich een oordeel te vormen over het eindproduct.

Stereotypen als de held en de nerd hebben gemeen dat ze wetenschappers afschilderen als vreemde vogels die in hun eigen wereldje leven. Wetenschap is voor veel mensen iets dat buiten het alledaagse leven staat, dus moeten wetenschappers wel een apart slag zijn. Maar wie bekijkt hoe kennis wordt gemaakt, ziet mensen van vlees en bloed die met vallen en opstaan proberen iets van de natuur te begrijpen. Zoals elke menselijke bezigheid is wetenschapsbeoefening ingebed in een maatschappelijke omgeving. Met hun werk beïnvloeden wetenschappers de maatschappij waarin ze leven, maar die maatschappij heeft ook invloed op hun werk.

Om dit in te zien kun je het best naar de geschiedenis van de wetenschap kijken. De wetenschapsgeschiedenis is een haast onuitputtelijke bron van voorbeelden van wetenschap in wording, van kennis in de maak. Bovendien, als je alleen je eigen tijd kent, lijkt alles vanzelfsprekend te moeten zijn zoals het is. Door het 'vreemde' van een andere tijd realiseer je je gemakkelijker dat wetenschap mensenwerk is. Een voordeel van de historische invalshoek is ook dat er genoeg stof is die weinig voorkennis vereist. Alleen experts kunnen het moderne natuuronderzoek tot in de details volgen, maar veel onderzoek uit een wat verder verleden is ook voor niet-wetenschappers best te behappen.

Mijn bedoeling is met voorbeelden uit de geschiedenis te illustreren hoe wetenschappelijke kennis tot stand komt. De ideeën hierover zijn de laatste vijftientig jaar nogal veranderd. Vroeger dacht men dat de wetenschapper een onfeilbare methode had om de natuur te leren kennen: de zogenoemde 'wetenschappelijke methode'. Maar helaas, zo'n waterdichte methode bestaat niet. Wetenschappelijk onderzoek is een grillig proces dat niet volgens vaste regels verloopt. Lang heeft

men ook gedacht dat wetenschap iets tijdloos was: mensen veranderen, de wetenschap blijft altijd wat ze is. Ook dit idee is achterhaald. Wetenschap maakt deel uit van onze cultuur, en als de cultuur verandert, verandert ook de wetenschap.

Er is veel literatuur over deze nieuwe visie op wetenschap. Maar die is vaak erg specialistisch of theoretisch. Ik heb geprobeerd toegankelijke voorbeelden te kiezen en ze zoveel mogelijk voor zichzelf te laten spreken. Voorbeelden uit de levenswetenschappen zijn in de meerderheid. Dat komt door mijn biologische achtergrond. Maar de biologie heeft ook als voordeel dat het niet snel al te technisch wordt.

Niemand kan een sluitende omschrijving geven van hoe kennis wordt gemaakt. Daarvoor is het een veel te ingewikkeld proces. Maar opgeteld geven de voorbeelden in dit boek wel een idee van hoe wetenschap werkt. Tegelijkertijd geven ze hopelijk een realistischer beeld van de onderzoekers zelf: natuurwetenschappers zijn eigenlijk net mensen. Zo moet hun werk ook beoordeeld worden: als mensenwerk.

2

Flemings penicilline

Hoe doe je een ontdekking?

Alexander Fleming was de laatste tien jaar van zijn leven zo populair als een popster. Bij officiële gelegenheden moest hij zich door hagen van bewonderaars heenwerken. Zijn naam werd gescandeerd, studenten tilden hem op de schouders, mensen probeerden hem aan te raken, sommigen barstten in tranen uit.

Een wetenschapper als publieksidool, dat is een zeldzaamheid. Dat het Fleming overkwam, is al helemaal verbazend. Einstein was ook zo iemand, maar die had charisma. Van zijn manenkop worden nog steeds posters gemaakt. Fleming daarentegen was een zwijgzame Schot die nooit lachte, een grijze muis die alleen opviel door zijn bokseersneus.

Natuurlijk, Flemings populariteit was te danken aan zijn ontdekking van penicilline in 1928. Penicilline redde levens en doet dat nog steeds. Maar het blijft dan toch vreemd dat alleen hij in de schijnwerpers stond. Niemand keek om naar de twee mannen die minstens zo belangrijk waren voor de ontwikkeling van penicilline, Howard Florey en Ernst Chain. Zij waren het die de werking van penicilline tegen ernstige infecties aantoonde, en zij brachten de massaproductie als geneesmiddel op gang. Wetenschappelijk kregen ze wel erkenning: in 1945 deelden ze de Nobelprijs voor medicijnen



Afbeelding 2.1: Alexander Fleming werd in 1881 als zoon van een boer geboren in Ayrshire, Schotland. In 1906 studeerde hij af in de medicijnen aan St. Mary's Hospital Medical School in Londen. Daarna bleef hij als bacterioloog aan dit instituut werken. In 1946 werd hij er onderzoeksdirecteur. Van 1928 tot 1948 was hij tevens hoogleraar bacteriologie aan de Universiteit van Londen. Fleming overleed in 1955 in Londen.

met Fleming. Maar bij het grote publiek bleven ze onbekend.

De verklaring is te vinden in de tijdsomstandigheden en de macht van de media. Het nieuws over de wonderbaarlijke genezingskracht van penicilline werd bekend in 1942, midden in de Tweede Wereldoorlog. Engeland had het zwaar te verduren en het eind van de oorlog was nog lang niet in zicht. Goed nieuws was in die moeilijke dagen meer dan welkom, en de pers stortte zich massaal op de ontdekkers.

Maar Florey en Chain gaven niet thuis. Een wetenschapper moest buiten de publiciteit blijven, vonden zij. Fleming wilde wel meewerken. Het Londense ziekenhuis waar hij werkte, zat altijd in geldnood en kon de media-aandacht goed gebruiken. Bovendien had Fleming een verhaal te vertellen dat zich prima leende voor sensationele berichtgeving: een typisch ontdekkingsverhaal, zoals we zullen zien. Fleming wees wel op het belangrijke werk van Florey en Chain, maar hun aandeel was technischer en minder spannend. Zo ging Flemings verhaal de wereld rond en werden zijn medeontdekkers vergeten.

Dat Fleming de uitstraling had van een antiheld, bleek geen nadeel. Het droeg juist bij aan zijn populariteit, zeker vlak na de oorlog. Het imago van wetenschapsmensen had door de oorlog een flinke deuk opgelopen. De atoombom en andere wetenschappelijke vindingen hadden miljoenen mensen de dood ingejaagd. Wetenschappers waren verblind geraakt door hoogmoedswaan, vonden veel mensen. Van wel-doeners van de mensheid waren ze veranderd in engelen des doods.

Tegenover dit beeld stond dat van de bescheiden man van weinig woorden, die met een eenvoudig middel miljoenen mensen juist van de dood redde. In Fleming hervond het publiek het romantische beeld van de wetenschapper als wel-doener. In de pers werd dit ideaalbeeld nog eens flink aangedikt. Ook voor de historische literatuur over Flemings werk bleef het lang een inspiratiebron.

Flemings ster steeg naar eenzame hoogte, maar op zichzelf is zijn geschiedenis niet uniek. Veel verhalen over beroemde wetenschappelijke ontdekkingen staan bol van de romantiek. Gevolg is dat ze je niet veel wijzer maken over hoe ontdekkingen tot stand komen.

Neem bijvoorbeeld het tijdsverloop tussen Flemings ont-

dekking van penicilline en de eerste toepassing ervan. Fleming deed zijn vondst in 1928, maar het duurde tot 1942 voordat de productie als geneesmiddel begon. Het cliché wil dat de erkenning altijd pas komt na een periode van miskenning. Flemings biografen beweerden dan ook dat het belang van zijn vinding eerst niet werd ingezien. Niemand wilde hem helpen penicilline op de markt te brengen. Fleming gaf natuurlijk niet op, maar hij moest wel jarenlang lijdzaam toezien hoe zijn 'geschenk aan de mensheid' werd genegeerd.

Deze uitleg is typerend voor het romantische ontdekkingsverhaal, maar er klopt niet veel van.

Een toevalsvondst

Het was een gedenkwaardige dag vroeg in september 1928. In zijn kamer in het Londense St. Mary's Hospital inspecteerde de bacterioloog Fleming een paar petrischaaltjes met bacterieculturen. Het ging om een proef met ziekteverwekkende bacteriën die hij voor zijn vakantie had gedaan. De schaaltes waren tijdens zijn afwezigheid op zijn werktafel blijven staan en Fleming wilde er nog een keer naar kijken voor hij ze wegdeed.

'That's funny', mompelde hij op een gegeven moment. In een van de schaaltes was een open plek te zien. Daar waren geen bacteriekolonies gegroeid, terwijl de rest van het schaalte er vol mee zat. Aan de rand van het schaalte groeide wel iets anders, een schimmel. Fleming begreep direct wat er gebeurd moest zijn. Sporen van de schimmel waren op een of andere manier zijn kamer binnengewaaid en in het schaalte met bacteriekolonies beland. In de weken van zijn vakantie was de schimmel gaan groeien. Daarbij had hij een stof uitgescheiden die de ziekteverwekkende bacteriën in zijn directe omgeving had gedood.

Volgens de overlevering realiseerde Fleming zich meteen dat hij een revolutionaire ontdekking had gedaan. De schimmel gaf hem de sleutel in handen tot de bestrijding van allerlei gevaarlijke bacteriële infecties bij de mens. Hij sprong op van zijn stoel en rende naar zijn collega's om zijn vondst te laten zien. Maar die reageerden schouderophalend. Daarmee begon Flemings lange strijd voor de erkenning van zijn ontdekking.

De schimmel bleek te behoren tot het geslacht *Penicillium*. Daarom noemde Fleming de stof die de bacteriën doodde penicilline. Hij schreef enkele artikelen over zijn vondst, maar er kwam geen respons. Toen probeerde hij biochemici te interesseren voor het op grote schaal winnen van penicilline. Maar ook zij zagen niets in zijn voorstel. In zijn eentje kwam hij niet verder, ook omdat het erg moeilijk bleek penicilline stabiel te houden. De stof verloor zijn werkzaamheid al na enkele uren.

Jarenlang bleef Fleming een roepende in de woestijn – nog steeds volgens het gangbare verhaal. Pas in 1938 realiseerden de medicus Florey en de biochemicus Chain van de universiteit van Oxford zich dat Fleming goud had gevonden. Zij hadden de biochemische kennis om penicilline zuiver en in grote hoeveelheden in handen te krijgen. Het stabiliteitsprobleem losten ze op door de vriesdroog-techniek toe te passen: gevriesdroogde penicilline was wekenlang houdbaar. Ze namen proeven, eerst op dieren en daarna op mensen, en de resultaten waren boven elke verwachting. Penicilline bleek de meest agressieve infecties te kunnen stoppen. Toen was het alleen nog een kwestie van grootschalige productie. In 1942 waren ze hiermee zover gevorderd dat penicilline zijn heilzame werk voor de mensheid kon gaan doen.

Fleming heeft nooit moeite gedaan deze populaire versie van de ontdekkingsgeschiedenis te corrigeren. Daar had hij

ook geen belang bij, want in deze versie was hijzelf de held, de profet die eerst door niemand geloofd werd maar later grandioos zijn gelijk haalde. Inmiddels zijn er veel meer details over de ontdekking bekend, en dat levert een ander verhaal op. Van Flemings heroïsche rol blijft weinig over, maar daar gaat het hier niet om. Interessanter is dat de nieuwe details een veel beter beeld geven van hoe 'iets ontdekken' in zijn werk gaat.

Fleming was zonder meer een scherp waarnemer. Hij zag meteen dat er iets bijzonders was gebeurd in het petrischaaltje dat op zijn bureau was blijven staan. Hij was ook een goede bacterioloog, want hij begreep wat er aan de hand was. Maar was dit nu een geniale ontdekking die niemand hem had kunnen nadoen? Het antwoord is 'nee', om de eenvoudige reden dat het effect van penicilline al eerder was waargenomen.

Zonder dat Fleming het wist, hadden een stuk of zes onderzoekers al jaren eerder hetzelfde gezien. Enkelen hadden zelfs uitgetest of je met penicilline infecties kon bestrijden. Maar ze kregen geen overtuigende resultaten en stopten met het onderzoek. Er was wel één belangrijk verschil met Flemings waarneming. Van *Penicillium* komen verschillende soorten voor, en Fleming trof als eerste een erg zeldzame soort in zijn schaalte aan, *Penicillium notatum*. Deze soort produceert een hoge concentratie penicilline. Was het een meer gangbare soort geweest, dan was het ook met Flemings ontdekking nooit wat geworden.

Er waren meer toevalsfactoren. Na zijn vondst moest Fleming allereerst proberen het waargenomen verschijnsel experimenteel te herhalen. Hij zette bacteriën uit in een petrischaaltje en liet ze uitgroeien tot kolonies. Daarna deed hij de schimmel erbij en wachtte af wat het effect zou zijn. Er gebeurde niets, de bacteriën bleven leven. Na een tijdje loste Fleming het probleem op. Het moest andersom: eerst de

schimmel in het schaalte, en pas wanneer die flink gegroeid was de bacteriën erbij. Dan bleek dat de bacteriën in de buurt van de schimmel niet konden groeien.

De verklaring werd pas in 1957 gevonden, vijftien jaar nadat penicilline zijn intrede had gedaan als geneesmiddel. Penicilline doodt geen kolonies van volwassen bacteriën. Daarom gebeurt er niets als je de schimmel aan een schaalte met kolonies toevoegt. Wel verhindert penicilline de vorming van nieuwe celwanden bij bacteriën die zich net in tweeën hebben gedeeld. Door dat delen vermenigvuldigen bacteriën zich en vormen ze de kolonies die je in een petrischaalte ziet. Zonder celwanden gaan bacteriën dood, dus dan krijg je geen kolonies. En dus kunnen in de omgeving van een schimmel die penicilline produceert geen nieuwe kolonies ontstaan.

Achteraf kunnen we uit dit gegeven afleiden dat Flemings ontdekking aan een hele reeks toevalligheden te danken was. Kijken we weer naar het petrischaalte dat Fleming 'funny' vond. Op het moment dat de bacteriën in dit schaalte zich begonnen te delen om kolonies te vormen, moet de schimmel ook al aanwezig zijn geweest. Want alleen delende bacteriën worden door penicilline gedood; al bestaande kolonies hebben er geen last van. Maar we weten ook dat de schimmel



Afbeelding 2.2: Flemings foto van het petrischaalte met *Penicillium*. Rond de schimmel (de grote witte vlek) groeien geen bacteriekolonies.

nog niet zichtbaar kan zijn geweest op het moment dat Fleming de bacteriën in het schaalpje uitzette. Want dan zou hij het schaalpje als 'verontreinigd' hebben weggegooid. Wel konden de onzichtbare sporen van de schimmel zich toen al in het schaalpje hebben genesteld.

Om te kunnen uitgroeien had de schimmel koele temperaturen nodig. Dit betekent dat Fleming na het uitzetten van de bacteriën een fout moet hebben gemaakt. Normaal zette hij de petrischaaltjes in een warme stoof, omdat bacteriën bij lage temperaturen niet gaan delen. Maar de schimmel kan juist niet in een warme omgeving groeien, dus moet Fleming vergeten hebben het schaalpje in de stoof te zetten. Misschien was dit wel het moment dat hij met vakantie ging. Het schaalpje bleef in elk geval weken op zijn bureau achter.

De schimmel gedijde bij de kennelijk gematigde temperatuur in het vertrek. De bacteriën deden bij die temperatuur weinig. Maar in het schaalpje dat Fleming na zijn vakantie inspecteerde, waren wel degelijk flinke bacteriekolonies aanwezig. Dus moet je aannemen dat het op een gegeven moment door zomerse temperaturen flink warm werd in Flemings kamer. Daardoor kon de schimmel niet verder groeien maar de bacteriën juist wel. Behalve dan op de plekken waar de schimmel penicilline had afgescheiden. Zo ontstond de situatie die Fleming begin september aantrof. Kan het onwaarschijnlijker?

Maar goed, zonder geluk vaart niemand wel.

Bacteriedoder

Het was ook niet alleen maar geluk. Er is wel gezegd dat Fleming de Nobelprijs alleen al verdiende omdat hij de betekenis van zijn toevalswaarneming inzag. Menigeen zou het schaalpje met de schimmel gedachteloos hebben weggegooid,

maar Flemings scherpe geest zag er de kiem van een nieuw geneesmiddel in. Nu was dit zeker een knappe prestatie, maar dan moet toch ook gezegd dat Fleming niet helemaal onvoorbereid was. Wat hij in het petrischaaltje met *Penicillium* zag, was hij al vaker tegengekomen.

Jaren eerder, in 1919, had Fleming vastgesteld dat mensen en allerlei dieren een stof produceren, lysozyme, die een antibacteriële werking heeft. Hij vond deze stof toen hij de reactie van allerlei lichaamsvochten (tranen, neusslijm) op bacteriën onderzocht. Het enzym lysozyme breekt de celwanden van volwassen bacteriën af. Voor het oog geeft een druppel lysozyme in een schaalje met bacteriën hetzelfde effect als penicilline: rond de druppel zie je een open plek zonder bacteriën.

Ook bij deze vondst dacht Fleming direct aan de mogelijke toepassing in de ziektebestrijding. Maar zijn verwachtingen kwamen niet uit. Alleen voor de mens ongevaarlijke bacteriën bleken gevoelig voor de stof lysozyme. Ziek makende bacteriën reageerden er niet op. Voor de bestrijding van infectieziekten had je er dus niets aan. Het enzym bleek alleen nuttig als hulpmiddel om allerlei andere ongewenste bacteriën te elimineren.

Fleming werd dus niet totaal verrast door de waarneming die hij in september 1928 deed. Zijn eerdere ervaring hielp hem de situatie te herkennen. Maar die ervaring had ook een nadeel. In de literatuur heet het dat Fleming jarenlang streed voor de erkenning van penicilline. Maar in werkelijkheid dacht hij dat penicilline, net als lysozyme, maar een beperkte toepassing had.

Vlak na zijn ontdekking had Fleming nog goede hoop dat penicilline inzetbaar zou blijken tegen infectieziekten. Hij deed dan ook de nodige tests. Eerst controleerde hij of penicilline niet schadelijk was voor de lichaamscellen van mens en

dier. Proeven met bacteriën in bloedserum lieten zien dat hier geen probleem lag: de bacteriën gingen dood, de bloedcellen bleven intact. Levende, gezonde dieren bleken een injectie met penicilline meestal ook goed te verdragen.

Bij deze proeven werd wel duidelijk dat penicilline heel snel zijn werkzaamheid verloor. Bij rechtstreekse injectie in het bloed verloor de stof zelfs al binnen een paar minuten veel van zijn activiteit. En dat terwijl voor het doden van bacteriën enkele uren nodig waren. Proeven met mensen wezen in dezelfde richting. Bij oppervlakkige ontstekingen zoals oogontsteking werkte de behandeling met penicilline prima. Maar bij de behandeling van voorhoofdsholteontsteking of ontstekingen in diepe wonden was de werking onvoldoende. De penicilline was dan uitgewerkt voordat ze de dieper gelegen infectiehaarden bereikte.

Dit was een domper. Fleming concludeerde dat penicilline niet bruikbaar was als geneesmiddel tegen interne infectieziekten. Vanwege de korte werkzaamheid zou injectie van penicilline in de bloedbaan van een zieke zinloos zijn. Een test die dat had moeten bevestigen, voerde hij niet eens meer uit.

Dat hij het niet eens probeerde, is wel merkwaardig. Misschien speelde hier mee dat zijn eerdere ervaringen met lysozyme ook teleurstellend waren geweest. Bovendien: ter bestrijding van inwendige infecties werkte Fleming in deze jaren vooral met vaccinatietherapie en met synthetische stoffen. Waarschijnlijk dacht hij dat die methoden de toekomst hadden en dat je met natuurlijke stoffen als lysozyme en penicilline niet verder kwam.

Fleming stelde nog wel twee biochemici aan om penicilline in zuivere vorm en in grotere hoeveelheden te produceren. Zij ontdekten dat je penicilline weken kunt bewaren in een licht zure oplossing en bij lage temperaturen. Het lukte ze ook om behoorlijke hoeveelheden in handen te krijgen. Ge-

noeg in elk geval om de tests op zieke dieren of mensen te doen die Fleming overbodig vond. Flemings latere bewering dat niemand hem hielp de problemen met de stabiliteit en de productie van penicilline op te lossen, klopt dus niet.

Fleming had wel een toepassing voor de penicilline die zijn biochemici produceerden. Die leek veel op de toepassing van lysozyme. Penicilline doodde de meeste, maar niet alle ziekteverwekkende bacteriën. De stof werkte niet tegen een bacterie waarvan Fleming (ten onrechte) dacht dat die de beruchte Spaanse griep veroorzaakte. Om zuivere culturen van deze bacterie te krijgen, voegde Fleming penicilline aan de schaaltes toe: die ruimde dan de andere ziekteverwekkende bacteriesoorten op.

Afgezien van deze toepassing deed Fleming in de jaren 1930 niets met penicilline. Zijn hoop op een nieuw geneesmiddel was blijkbaar vervlogen. In zijn publicaties is maar één keer een opmerking over medische toepassing te vinden. Die opmerking staat in een artikel in een tandheelkundig tijdschrift, dus je mag aannemen dat Fleming hier doelde op uitwendige toepassing bij niet te diepe wonden.

Toch een geneesmiddel

Zou penicilline in 1942 beschikbaar zijn geweest als het alleen aan Fleming had gelegen? Het lijkt er niet op. De bijdrage van Florey en Chain was onmisbaar. Zij wisten van Flemings experimenten. Florey had zelf jaren met lysozyme gewerkt. In 1938 namen ze het initiatief om het onderzoek van penicilline voort te zetten.

Volgens het populaire verhaal werkten de twee mannen in Oxford onder leiding van Fleming. In werkelijkheid was er de eerste jaren geen enkel contact. (Chain dacht zelfs dat Fleming al overleden was.) Daardoor konden Florey en Chain

niet eens profiteren van het ongepubliceerde werk van Flemings biochemici. Zij moesten opnieuw uitzoeken hoe je penicilline het best kunt winnen en bewaren.

In 1940 waren ze zo ver met de productie dat tests op dieren mogelijk waren. Ook Florey en Chain wisten dat penicilline in het lichaam snel wordt afgebroken. Maar terwijl Fleming om die reden had afgehaakt, besloten zij gewoon de proef op de som te nemen. Kon je niet met hoge en frequente doseringen toch je doel bereiken? Proeven met muizen waren een groot succes, maar er was inderdaad veel penicilline nodig. Voor mensen zou dus nog veel meer beschikbaar moeten zijn. Met primitieve middelen bouwden Florey en Chain hun laboratorium daarom om tot een penicillinefabriekje.

Na een aantal maanden met man en macht werken, hadden ze eindelijk zoveel penicilline in handen dat een proef met een patiënt mogelijk was. Deze proefpersoon knapte zienderogen op na een aantal penicilline-injecties. Maar de penicilline-voorraad raakte snel op, ook omdat het middel razendsnel via de urine weer werd uitgescheiden. De patiënt redde het uiteindelijk niet: zijn infectie kwam in alle hevigheid terug, en toen was de voorraad penicilline op.

Zo kwamen Florey en Chain voor misschien wel het moeilijkste deel van hun taak te staan: het opvoeren van de productie. Maandenlang liepen zij zich het vuur uit de sloffen om Britse fabrikanten te interesseren voor de massaproductie van penicilline. Zonder succes. Niet dat de fabrikanten twijfelden aan de werkzaamheid; de resultaten waren overtuigend genoeg. Maar het was oorlog, en de grote farmaceutische industrieën gebruikten hun hele productiecapaciteit voor het aanmaken van bekende middelen zoals vaccins. Bovendien waren de fabrikanten bang dat chemici snel zouden uitvinden hoe je penicilline synthetisch kunt maken. Dan zouden hun investeringen om de stof uit *Penicillium* te winnen voor niets zijn geweest.

Florey ging uiteindelijk naar Amerika om mensen te zoeken die met hem in zee wilden gaan. Hier had hij succes. December 1941 raakten ook de Verenigde Staten bij de oorlog betrokken, door de aanval op Pearl Harbor. Enkele Amerikaanse ondernemers lieten zich overtuigen dat penicilline voor de behandeling van oorlogsslachtoffers belangrijk was. Zij zetten een grootschalige productielijn op, die al snel duizenden malen meer werkzame stof opleverde dan Florey's kleine fabriekje in Oxford.

In 1942 konden meer proeven met mensen worden gedaan, en ze lieten over de effectiviteit van het middel geen twijfel bestaan. Daarna ging het snel. In 1944 werd in Amerika genoeg penicilline geproduceerd om alle gewonden van D-Day te kunnen behandelen.

Fleming had in deze ontwikkelingen maar een klein aandeel. In 1941 meldde hij zich voor het eerst in Oxford om de voortgang van het onderzoek van Florey en Chain te bekijken. In 1942 voerde ook hij een succesvolle test op een patiënt uit, met een dosis penicilline die hij van Florey had gekregen. De media pikten de berichten over Florey's en Flemings geslaagde proeven op en kwamen massaal in actie. De rest is geschiedenis.

Ontdekken

In de wetenschap gaat het om ontdekkingen doen. Dus zou je graag willen weten hoe ontdekken in zijn werk gaat. Natuurlijk is er geen recept voor – dan zou iedereen ontdekkingen bij de vleet kunnen doen. Sterker nog, het valt zelfs niet mee om vat te krijgen op wat ontdekken nu eigenlijk is. Alleen in populaire verhalen ontdekt de onderzoeker net zo gemakkelijk een nieuw natuurverschijnsel als de kok een muis in de keuken ontdekt.

Zelfs de vraag wie de eigenlijke ontdekker van een nieuw fenomeen is, valt vaak al moeilijk te beantwoorden. Immers, wie ontdekte penicilline: Fleming of Florey en Chain? Of moeten we de eer geven aan een van de vergeten onderzoekers die de werking van penicilline al veel eerder op het spoor waren? En waar vond de ontdekking eigenlijk plaats: in Flemings lab, in dat van Florey, of nog ergens anders? En wat was precies het moment van ontdekken: toen de werking van de schimmel duidelijk werd of toen bleek dat penicilline mensen kon genezen?

Eigenlijk zijn dit allemaal verkeerde vragen. Ontdekken is niet één duidelijk aanwijsbare gebeurtenis maar een proces. En in plaats van één ontdekker heb je vaak een groep betrokkenen die een grotere of kleinere rol spelen in dat proces.

Bij ontdekken komt meer kijken dan een flits van inzicht of een slimme zet van een briljante wetenschapper. Zo'n helder moment kan een rol spelen, maar daarmee begint het pas. Flemings waarneming in september 1928 sloeg niet bepaald in als een bom. Ook niet bij hemzelf, want hij kende het effect al van lysozyme. Had je in medisch opzicht iets aan penicilline? Fleming dacht lang van niet, en daar had hij goede redenen voor. Florey geloofde er wel in, maar niet omdat hij betere informatie had. Zijn stelregel was: gewoon uitproberen.

Ten slotte is er nog een heel belangrijke factor: de rest van de wereld. Die moet wel brood zien in je vondst, ook in letterlijke zin, anders stopt het hele proces. Zolang de farmaceutische industrie niet mee wilde doen, bleef de ontdekking van penicilline alleen van academisch belang. Hier hebben we een parallel met het hoofdstuk over Diesel in dit boek: het lot van een nieuwe vinding is ook afhankelijk van de markt.

3

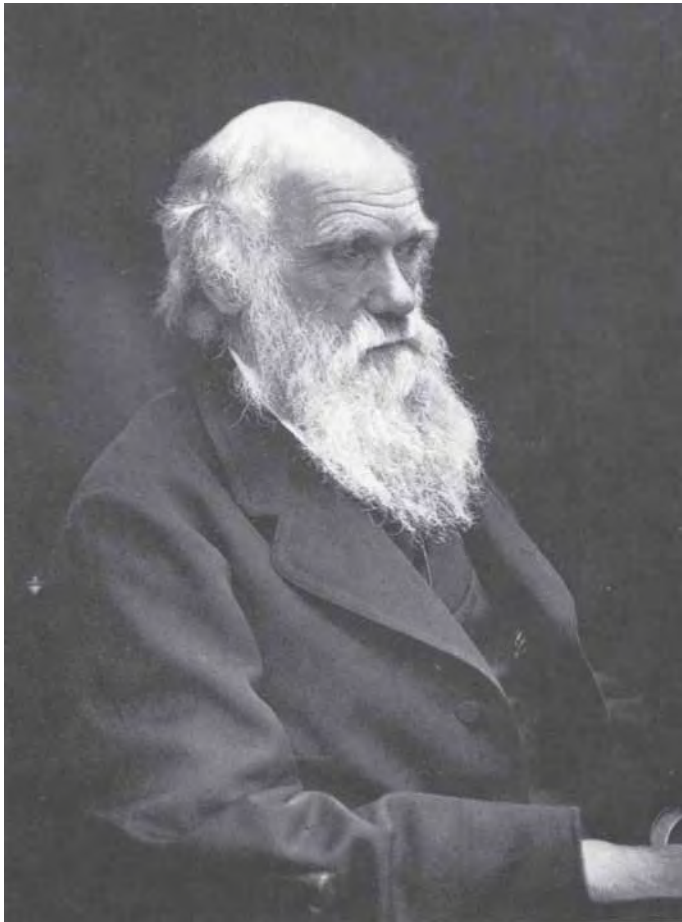
Darwins vinken

Van waarneming naar theorie, en terug

Op een mooie najaarsdag zat Isaac Newton uit te rusten in zijn achtertuin. Opeens werd zijn aandacht getrokken door een vallende appel. Hier was een natuurwet aan het werk, flitste het door Newton heen. De theorie van de zwaartekracht was geboren.

Een aardige anekdote, maar ging het echt zo? Het verhaaltje wil ons laten geloven dat de wereld een open boek is voor wie er onbevangen naar kan kijken. Talloze mensen voor Newton hadden appels zien vallen zonder er iets bijzonders bij te denken. Ze waren ziende blind. Newtons open geest moest eraan te pas komen om in de vallende appel het beginsel van de zwaartekracht te zien. Niet voor niets wordt de geniale wetenschapper vaak vergeleken met een kind: dankzij zijn onbevangen blik kijkt hij de waarheid recht in het gezicht.

Nu zijn goede wetenschappers inderdaad meestal scherpe waarnemers, dat zagen we ook al bij Fleming. Maar de stap van goed kijken naar begrijpen is toch meestal ingewikkelder. Zelfs als het om briljante geleerden gaat. Of de anekdote van Newton en de appel waar gebeurd is, weet niemand. Zeker is wel dat er daarna nog twintig jaar overheen gingen voordat Newton zijn theorie van de zwaartekracht rond had. De



Afbeelding 3.1: Charles Darwin werd in 1809 geboren als zoon van een arts in het Engelse Shrewsbury. Hij studeerde enkele jaren medicijnen in Edinburgh en theologie in Cambridge, maar had meer belangstelling voor de biologie. Van 1831 tot 1836 reisde hij als natuuronderzoeker de wereld rond met het marineschip de Beagle. Na zijn terugkeer vestigde hij zich als privé-geleerde in Down, in Kent. Hier bleef hij de rest van zijn leven en schreef hij zijn beroemde werken. Darwin overleed in 1882.

appel mag geholpen hebben, maar dan alleen als een zetje in de goede richting.

Een mooie illustratie van hoe kijken en begrijpen samenhangen, leveren de vinken van de Galápagos-eilanden, de beroemde darwinvinken. Ruim anderhalve eeuw geleden werden ze voor het eerst beschreven. Maar tot op de dag van vandaag blijven biologen de darwinvinken observeren. En nog steeds is er discussie hoe de waarnemingen begrepen moeten worden.

Darwin op Galápagos

De darwinvinken zijn het beroemdste voorbeeld van hoe evolutie werkt. Ze lijken de perfecte illustratie van de stelling 'wie goed kijkt, begrijpt'. Dat is ook waar het historische verhaal van de darwinvinken om draait. Charles Darwin bezocht de Galápagos-archipel in 1835, tijdens zijn reis met het exploratieschip de *Beagle*. In de vijf weken dat hij deze eilandengroep voor de westkust van Zuid-Amerika doorkruiste, zou hij evolutionist zijn geworden. Dankzij de vogels die later darwinvinken gingen heten. In zijn onderzoeksjournaal lijkt Darwin het zelf te bevestigen: in de Galápagos-archipel lag 'de oorsprong van al mijn latere ideeën'.

Elk handboek over evolutie bevat wel een groepsportret van de verschillende soorten darwinvinken. Voor de moderne lezer spreekt zo'n plaatje bijna voor zichzelf: zo werkt evolutie. Op de eilanden komen diverse vinkensoorten voor, die herkenbaar zijn aan de vorm van hun snavel. De verschillen in snavelvorm hebben te maken met de leefwijze van de vogels. Het zijn aanpassingen aan het soort voedsel dat ze eten. En die aanpassingen zijn ontstaan door evolutie.

De evolutie van de vinken verliep als volgt. De oorspronkelijke vlucht vinken die in een ver verleden op de Galápagos

neerstreek, bestond uit individuen van één soort. Op de eilanden troffen ze verschillende milieus aan met verschillende soorten voedsel. Nu zijn de individuen van een soort nooit precies aan elkaar gelijk. Ze variëren in al hun eigenschappen. Zo ook de Galápagos-vinken. Sommige individuen bleken beter aan het ene, en andere individuen beter aan een ander milieu aangepast. In een gebied dat bijvoorbeeld vooral kleine plantenzaadjes als voedsel te bieden had, waren vinken met relatief kleine en fijne snavels in het voordeel. Zulke vogels waren in dit gebied succesvoller dan andere: ze kregen meer nakomelingen dan vogels met een grovere snavel. Ook onder hun nakomelingen waren het weer de vogels met de fijnste snavels die het het best deden. Met als gevolg dat er op den duur alleen nog maar vinken met fijne snaveltjes in het gebied voorkwamen.

Hetzelfde gebeurde met vinken die andere snavelvarianties hadden. Sommige snavelvormen waren bijvoorbeeld handig in milieus met veel insecten. Sterke snavels kwamen goed van pas in gebieden waar veel harde zaden voorhanden waren, lange snavels waren nuttig voor honingeters, enzovoort. Op deze manier ontstond er op de Galápagos-eilanden, na enkele miljoenen jaren van evolutie, een groep van zo'n veertien verwante soorten met duidelijk verschillende snavels. Darwin zou later spreken van 'evolutie door natuurlijke selectie': in elk milieu werden de best aan hun omgeving aangepaste vogels als het ware door de natuur uitgeselecteerd.

Het verhaal wil nu dat Darwin de vinken eigenlijk maar hoefde te zien om op het idee van evolutie door natuurlijke selectie te komen. Bij aankomst in de archipel verwachtte hij niet dat er meer dan één soort vink zou voorkomen. De eilanden lagen dicht bij elkaar en Darwin zag geen grote milieuverschillen tussen de eilanden. Wel merkte hij direct op dat er onbekende vogelsoorten leefden. Dus besloot hij een verza-

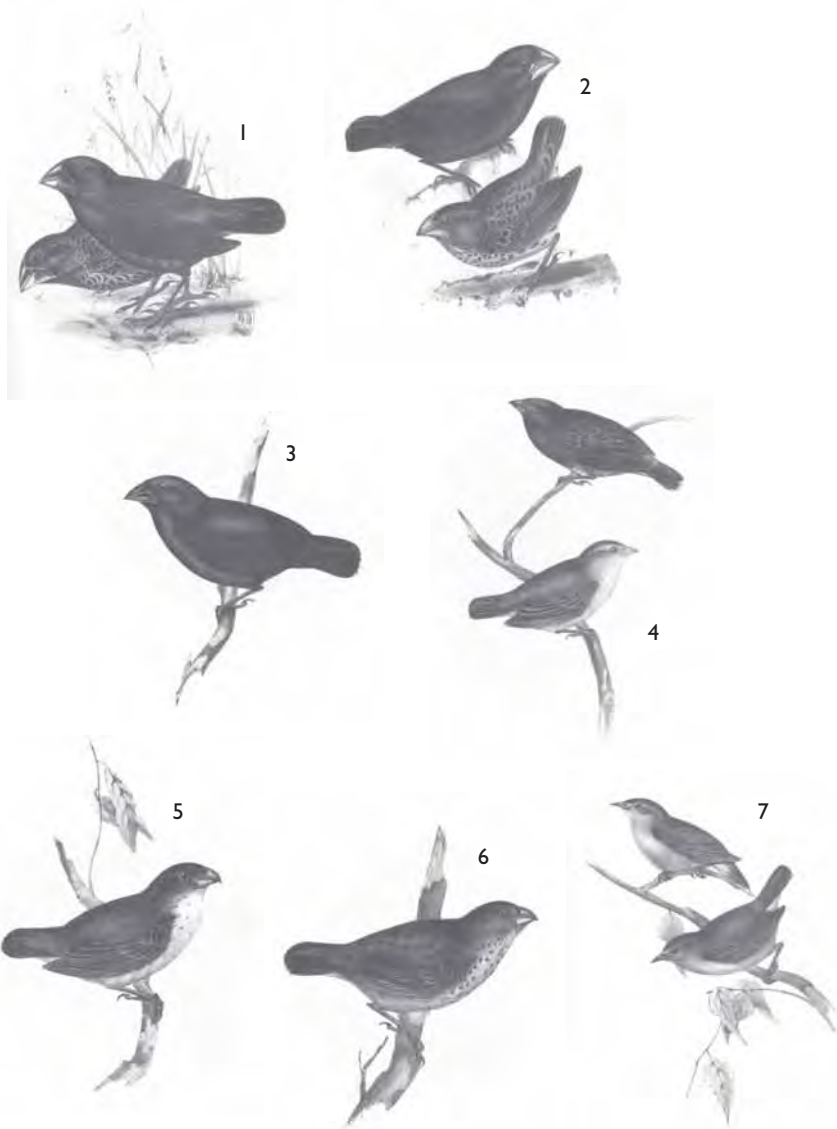
meling aan te leggen. Van de eerste twee eilanden die hij bezocht, nam hij allerlei soorten mee, zonder er op te letten welke vogels van welk eiland kwamen. Maar al bij het derde eiland begon hem iets te dagen.

Het eerste dat Darwin opviel, was dat er verschillende soorten spotlijsters op de Galápagos leefden, maar niet elke soort kwam op elk eiland voor. Een tweede hint kreeg hij van een plaatselijke bestuursambtenaar. Die beweerde dat hij aan het schild van een Galápagos-schildpad kon zien op welk eiland het dier leefde. Vanzelf vroeg Darwin zich toen af hoe het met de vinken zat. Kon het zijn dat elk eiland ook zijn eigen, karakteristieke vinkensoorten had? Met dit idee in het achterhoofd zou Darwin zijn vogels in het vervolg netjes apart, per eiland, hebben gelabeld.

Ondertussen, zo gaat het verhaal verder, begon Darwin na te denken over de betekenis van deze gegevens. Of beter gezegd, die betekenis drong zich vanzelf aan hem op. Waarom zou de Schepper een groepje dicht bij elkaar gelegen eilanden zoveel verschillende soorten hebben gegeven? Eén type vink of spotlijster voor alle eilanden leek toch wel genoeg? Was het niet veel aannemelijker dat de soortenrijkdom het gevolg was van evolutie? Leverden de vinken niet een prachtig bewijs dat de klassieke opvatting van de onveranderlijkheid van de soorten op de helling moest?

Volgens sommige schrijvers kreeg Darwin zelfs woorden over de kwestie met de kapitein van de Beagle, Robert Fitz-Roy. Voor de streng-gelovige Fitz-Roy waren Darwins evolutionaire speculaties godslasterlijke onzin. God had de soorten geschapen, en al konden ze kleine variaties vertonen, een soort bleef een soort. Maar Darwin liet zich niet afschrikken en redeneerde verder. Hij zou zelfs al ingezien hebben dat de variatie in de vinkensnavels op een verschil in dieet wees.

In detail zou Darwin zijn evolutietheorie pas na de reis



Afbeelding 3.2: Enkele darwinvinken, de grondvinken (1, 2, 3, 4) zoeken hun voedsel op de grond of in lage struiken. De boomvinken (5, 6) eten hoofdzakelijk insecten, evenals het insectenvinkje (7).

met de Beagle uitwerken. Maar de basis voor de gedachtegang van de *Origin of Species* uit 1859 werd in 1835 gelegd, op de Galápagos-eilanden. En natuurlijk zouden de vinken in de *Origin* als spectaculair voorbeeld van evolutie dienen. Zo raakten de evolutietheorie en de darwinvinken onlosmakelijk met elkaar verbonden.

Een rommeltje

De geschiedenis van de wetenschap kent heel wat van dit soort verhalen. Eigenlijk zijn ze te mooi om niet waar te zijn. Maar helaas, meestal zijn ze het niet, en de darwinvinken zijn geen uitzondering. Het verhaal van de vinken heeft in de loop van de tijd fabelachtige vormen aangenomen. Wie het verhaal in de *Origin of Species* wil nalezen, komt daar snel achter. Het staat er namelijk niet in. Darwin noemt de Galápagos-eilanden wel in zijn boek, maar over de vinken zegt hij niets. Ook in zijn andere publicaties komen we het verhaal niet tegen.

De reden is eenvoudig. Het verhaal zoals wij het kennen, komt voor het eerst voor in een boek uit 1945, geschreven door de bioloog David Lack. Darwin zelf heeft niet veel over de vinken gezegd, eenvoudigweg omdat hij er niet veel over te zeggen had. Hij begreep namelijk maar weinig van hun evolutie. De gegevens die hij in de Galápagos-archipel had verzameld, vond hij voornamelijk verwarrend. Zodat hij er in zijn boeken maar liever zijn mond over hield. Dat Darwin dankzij de vinken op de Galápagos tot zijn evolutietheorie kwam, is een mythe. Darwin had wel naar de vinken gekeken, maar begrepen had hij ze niet.

Wat Darwin wel over de vinken dacht, blijkt uit zijn dagboekantekeningen en brieven. Daaruit valt op te maken dat hij tijdens zijn verblijf op de Galápagos maar weinig interesse

had voor de vinken. Zoals gezegd vielen de verschillen tussen de spotlijsters van sommige eilanden hem op, en ook noteerde hij wat hem over de schildpadden werd verteld. Later zou hij schrijven dat deze gegevens hem duidelijk maakten dat hij nauwkeurig moest bijhouden welke dieren van welk eiland kwamen. Maar deed hij dat ook?

In het geval van de vinken zeker niet. Pas in 1837, toen hij alweer een half jaar terug in Engeland was, begon hij uit te zoeken of er per eiland specifieke soorten vinken waren. Maar toen was het te laat. Want waar de vinken in zijn verzameling vandaan kwamen, kon hij toen niet meer precies achterhalen. Van de meeste vinken had hij namelijk helemaal geen vindplaats genoteerd.

We weten dit omdat Darwin in 1837 raad vroeg aan een paar Beagle-reisgenoten die ook vogels hadden verzameld. Hadden zij misschien wel opgetekend welk dier waar vandaan kwam? Dat hadden ze, en met hun hulp kon Darwin de herkomst van enkele soorten reconstrueren. Althans, dat dacht hij. Hij maakte nogal wat fouten en zijn vinkencollectie bleef een rommeltje. Darwin publiceerde deze 'gereconstrueerde' vindplaatsgegevens wel, en dat heeft onder latere vogelkenners nog voor een hoop verwarring gezorgd.

Dat Darwin op de Galápagos niet meer aandacht voor de vinken had, wijst erop dat hij toen nog niet in evolutionaire termen dacht. De eerste notitie van Darwin waaruit blijkt dat hij in de veranderlijkheid van soorten begon te geloven, dateert van negen maanden na zijn bezoek aan de eilanden. En pas midden 1837 realiseerde hij zich dat de Galápagos-vinken als bewijs voor zijn evolutionaire ideeën konden dienen. Maar toen kwam hij er dus achter dat hij zijn vinken niet secuur genoeg had gelabeld om iets over hun vindplaats te kunnen zeggen.

Darwin dacht nog wel uit zijn gegevens te kunnen afleiden

dat vier van de vinkensoorten in zijn collectie elk maar op één eiland voorkwamen. Maar hier blijkt opnieuw dat hij tijdens het verzamelen niet goed had opgelet. De vier soorten in kwestie komen allemaal op twee of meer eilanden voor. Erger nog: we weten nu dat alle Galápagos-vinken op meer eilanden voorkomen – op één na dan, maar die soort kende Darwin niet. Hij zat er, kortom, helemaal naast. De vinkensoorten zijn niet netjes over de eilanden verdeeld, ze komen naast elkaar voor.

Er is nog een gegeven dat niet met het klassieke verhaal over de darwinvinken spoort. Darwin had tijdens zijn verblijf op de eilanden niet eens door dat het om een groep van nauw aan elkaar verwante vinkensoorten ging. Eén van de soorten noemde hij bijvoorbeeld een winterkoninkje. Pas toen hij zijn collectie in Engeland aan een doorgewinterde vogelkenner voorlegde, kreeg hij te horen dat het om één groep ging.

Alles bij elkaar blijft er van het klassieke verhaal over de darwinvinken niet veel over. Darwins pad naar de evolutietheorie was heel wat moeizamer dan het vinkenverhaal suggereert. Een paar waarnemingen van vinken met curieuze snauwels waren niet genoeg om hem op het idee van evolutie te brengen. Zijn waarnemingen van spotlijsters evenmin, al zou hij die later in de *Origin* wel noemen.

En de schildpadden? Daarvan was Darwin toch verteld dat elke soort zijn eigen eiland had? De Beagle-bemanning zou inderdaad een flink aantal zware Galápagos-schildpadden mee naar het schip. Maar toen de Beagle weer op zee was, gingen ze in de pan, en de schilden werden overboord gekieperd. Waaruit valt op te maken dat Darwin het evolutionaire belang ervan toen nog niet inzag.

Het is best mogelijk dat Darwin tijdens de Beagle-jaren al twijfelde over de stabiliteit van de soorten. Maar hij was nog lang niet de evolutionist die de *Origin of Species* schreef. Ook

een fabeltje is dat Darwin al tijdens zijn bezoek aan de Galápagos bedacht dat de snavelvormen van de vinken met hun voedingspatroon te maken hebben. Daarover heeft hij nooit iets gezegd, ook niet in latere jaren.

De stelling dat de Galápagos-vinken Darwin op het idee van evolutie brachten, kun je beter omdraaien: pas toen hij over evolutie nadacht, kwam Darwin op het idee dat de vinken als bewijsmateriaal voor zijn theorie konden dienen.

Terug naar de Galápagos

De moderne opvattingen over de evolutie van de darwinvinken zijn vooral te danken aan onderzoek van de al even genoemde David Lack. Deze Engelse vogelkenner bezocht de eilanden vlak voor de Tweede Wereldoorlog en publiceerde er in 1945 een klassieker over, *Darwin's Finches*. Dit boek werd de basis voor de mythe van de darwinvinken.

Lack was opgegroeid in een tijd dat Darwins evolutietheorie veel aanhang verloor. Zo tussen 1900 en 1930 geloofden de meeste biologen wel in evolutie, maar ze begonnen steeds meer te betwijfelen of Darwins idee van natuurlijke selectie wel klopte. Dat kwam vooral doordat het erg lastig was bewijzen te vinden voor het idee dat natuurlijke selectie in de natuur een centrale rol speelt. Maar Lack presenteerde zijn vinkenonderzoek als een prachtige bevestiging van Darwins selectietheorie. Daarom gaf hij Darwin in zijn boek veel eer – zelfs voor ideeën die hij nooit had gehad. En het was Lack die met het verhaal kwam dat de darwinvinken de sleutel waren geweest tot Darwins inzicht in het evolutieproces.

Latere schrijvers gingen nog een stapje verder en schreven alles wat Lack over de vinken had bedacht voor het gemak ook maar aan Darwin toe. Zo zou ook Darwin al hebben begrepen dat de snavels van de vinken aangepast waren aan hun

voedsel. Eén auteur liet Darwin op de Galápagos zelfs geboeid kijken naar een vinkensoort die hij daar in werkelijkheid helemaal niet gezien had. Het ging hier om een vink die kleine takjes gebruikt om insecten uit spleetjes in boombast te peuteren. Deze soort werd pas dertig jaar na Darwins bezoek ontdekt. Het merkwaardige peutergedrag werd zelfs pas na Darwins dood opgemerkt. Zo gaat dat met mythevorming.

Maar David Lack was niet alleen maar degene die de mythe van de darwinvinken in omloop bracht. Zijn onderzoek op de Galápagos gaf nieuw inzicht in de oorsprong van de verschillende vinkensoorten. Aan Lack is het te danken dat ze als een schoolvoorbeeld van evolutie in de handboeken zijn gekomen. Maar daarvoor moest hij eerst de evolutietheorie verder uitwerken dan Darwin had gedaan.

De kern van Darwins betoog is dat een soort in de strijd om het bestaan langzaam verandert door variatie en natuurlijke selectie. Maar een soort die verandert blijft toch nog steeds maar één soort. Hoe kom je dan aan veertien verschillende darwinvinken? Darwin realiseerde zich al dat een eilandengroep als de Galápagos je hier verder kan helpen. Als de oervink zich had verspreid over de eilanden, konden de vogels op de verschillende eilanden zich elk in een eigen richting ontwikkelen. De isolatie die de eilanden boden, was noodzakelijk om verschillende soorten te laten ontstaan. Want zolang dieren zich op één eiland onderling bleven voortplanten, bleven ze tot één soort behoren.

Maar hiermee zijn we er nog niet. De situatie van de darwinvinken is ingewikkelder. Op de meeste eilanden vind je meerdere vinkensoorten naast elkaar. En er was toch isolatie nodig om meerdere soorten te laten ontstaan? Darwin heeft in latere jaren wel het principe uitgedokterd waarmee je deze situatie kunt verklaren, maar hij heeft het nooit op de dar-

winvinken toegepast. Dat kon hij ook niet. Want dan had hij moeten weten wat de achtergrond is van de verschillende snavelvormen, en zover reikte zijn kennis niet. David Lack wist het vraagstuk wel op te lossen.

Isolatie en specialisatie

Ook Lack beschouwde isolatie als de sleutel. De eerste vinken die op de Galápagos terecht waren gekomen, verspreidden zich geleidelijk over de eilanden en maakten op elk eiland een eigen, geïsoleerde ontwikkeling door. Daarbij speelden allerlei factoren een rol, zoals kleine milieuverschillen tussen de eilanden. Maar de eilanden liggen niet erg ver van elkaar af, en vroeger of later vlogen er opnieuw vinken van het ene eiland naar het andere en andersom. Stel nu dat de periode van isolatie en gescheiden ontwikkeling maar kort was geweest. Dan waren er waarschijnlijk geen al te grote verschillen tussen de vogels op de diverse eilanden ontstaan. Kwamen zulke vogels weer op één eiland bij elkaar, dan vermengden ze zich weer tot één groep. Dan was er dus geen nieuwe soort ontstaan. Maar neem nu aan dat de isolatie veel langer had geduurd en dat de gescheiden groepen zich elk in een andere richting hadden kunnen ontwikkelen. Dan was het mogelijk dat de vogels elkaar bij hereniging niet meer als soortgenoten herkenden of onderling niet meer vruchtbaar waren. Dan heb je dus verschillende vormen naast elkaar op eenzelfde eiland.

Deze vormen waren dan nog steeds wel nauw aan elkaar verwant. Waarschijnlijk gebruikten ze ook nog allemaal ongeveer hetzelfde voedsel. Dat gaf dan heftige onderlinge concurrentie. Met als gevolg dat de verschillende vormen zich zo snel mogelijk specialiseerden in een bepaalde voedselsoort. Als een bepaalde groep vinken bijvoorbeeld al een iets sterke-

re snavel had, dan concentreerden deze vogels zich op grote zaden die andere vogels lieten liggen. Selectie zorgde er vervolgens voor dat ze meer en meer in die richting gespecialiseerd raakten, want dat verminderde de voedselconcurrentie. Zo gingen de verschillende vormen die met elkaar een eiland bevolkten steeds minder op elkaar lijken. Het werden uiteindelijk aparte soorten met duidelijk verschillende snavels. Zo kun je dus meerdere vinkensoorten op één eiland krijgen.

Het model van isolatie, gevolgd door weer samenkomen, gevolgd door snelle specialisatie, is het standaardmodel voor darwinistische soortvorming geworden. En niet alleen voor soortvorming op eilanden, maar ook op het vasteland. Voor het vasteland geldt evengoed: zonder een periode van isolatie geen soortvorming. Bij isolatie op het vasteland kun je denken aan dieren die tijdelijk gescheiden raken aan twee kanten van een rivier of een bergketen. Voor de rest verloopt alles hetzelfde als op eilanden.

Lack kon dit model opstellen omdat hij veel meer waarnemingen had gedaan dan Darwin. Hij kende de soorten beter en wist precies welke soort waar voorkwam. Maar ook voor hem gold dat waarnemingen alleen hem niet tot zijn model brachten. Volgens Lack waren de snavels van de darwinvinken door voedselconcurrentie ontstaan. Bij een bepaald type snavel hoort dus een bepaald type voedsel. Nu is het wel heel plausibel dat sterke snavels voor harde zaden bedoeld zijn en subtiele snaveltjes voor insecten, maar directe bewijzen had Lack hier nauwelijks voor. Dan zou je van alle soorten moeten nagaan wat ze precies eten, en dat had Lack niet gedaan.

Bovendien, als je in het broedseizoen naar de Galápagos gaat, krijg je niet te zien wat je verwacht. Er is in de broedtijd veel voedsel voorhanden, en je ziet dan verschillende soorten vinken, met heel verschillende snavels, gezellig naast elkaar hetzelfde voedsel verorberen. Dat de vogels gespecialiseerd

zijn, blijkt pas in tijden van droogte. Dan ontstaat er voedsel-schaarste en wordt de concurrentie om voedsel in alle hevigheid gevoerd. De vogels concentreren zich dan op het voedsel waar ze een speciale snavel voor hebben. Je moet dus over een langere periode nagaan wie wat eet om het verband tussen snavelvorm en voedselbron te bewijzen.

David Lack had dit verband zoals gezegd niet nauwkeurig onderzocht. Als darwinist ging hij er eenvoudig vanuit dat de snavelverschillen door natuurlijke selectie waren ontstaan. En voedselconcurrentie leek hem een aannemelijke verklaring voor het ontstaan van de verschillen. Hij had hier ook wel wat aanwijzingen voor, maar geen overtuigende bewijzen. Lacks model berustte dus maar voor een deel op waarnemingen. Het weerspiegelde ook zijn theoretische verklaring voor de vinkenevolutie.

Wordt vervolgd

Het tijdrovende onderzoek naar voedselconcurrentie is de laatste dertig jaar met succes gedaan door het Amerikaanse biologen-echtpaar Peter en Rosemary Grant. Zij zochten in detail uit welke soorten voedsel er voor de darwinvinken beschikbaar zijn. Vervolgens observeerden ze met eindeloos geduld welke vogels welk voedsel aten. En inderdaad, er bleek een duidelijke samenhang tussen snavelvorm en voedselvoorkeur te bestaan. Dat betekende dus steun voor Lacks model.

De Grants kwamen nog veel meer aan de weet over de evolutie van de darwinvinken. De vulkanische Galápagos-archipel bestaat nog niet zo heel lang, en de evolutie is er bij wijze van spreken nog maar net begonnen. De verschillen tussen de vinkensoorten zijn dan ook nog betrekkelijk klein. Zelfs kenners hebben soms moeite ze uit elkaar te houden. Maar de

vinken bieden zo wel een unieke mogelijkheid om 'evolutie in actie' te bestuderen.

Het proces van isolatie, weer samenkomen en specialisatie gaat natuurlijk gewoon door, ook bij de veertien nu bekende soorten. De Grants werken al bijna dertig jaar op de eilanden. Heel lang voor een team van onderzoekers, maar in evolutionaire termen heel kort. Toch kunnen de gegevens die ze jaar na jaar verzamelden iets zeggen over hoe Lacks soortvormingsmodel in de praktijk werkt.

De Grants bekeken bijvoorbeeld hoe een geïsoleerde groep vogels reageerde op een periode van extreme droogte. Het bleek dat forse individuen met grote snavels in zo'n periode de beste overlevings- en voortplantingskansen hadden. Tijdens een droogteperiode die enkele jaren voortduurde, liet de bestudeerde groep een ontwikkeling zien in de richting van grote vogels met stevige snavels.

Op het eerste gezicht is dit verrassend. Je zou denken dat grote vogels veel voedsel nodig hebben, en hoe droger het is, hoe minder voedsel er voorhanden is. Kleine vogels houden het dan toch langer uit? De verklaring is dat harde zaden in een droogteperiode het langst beschikbaar blijven als voedselbron. Zolang het kan, eten alle vinken liever kleinere en zachtere zaden. De grote harde zaden blijven over. Bij extreme droogte is er op den duur niets meer te eten voor vogels die geen harde zaden kunnen kraken. Alleen de grotere individuen met forse snavels blijven dan in leven. Zo lieten de Grants zien dat het wel degelijk mogelijk is natuurlijke selectie op heterdaad te betrappen. Evolutie gaat dan wel heel langzaam, maar met intensieve observatie zijn de effecten ervan op micro-schaal toch te zien.

De waarnemingen van de Grants leiden ook weer tot nieuwe ideeën over het evolutieproces. De toepassing van DNA-technieken liet zien dat sommige vinkensoorten op basis van

hun genetisch materiaal nauwelijks uit elkaar te houden zijn. Nu hoeft dat ook niet. Soorten hoeven geen grote genetische verschillen te vertonen om toch als (voor elkaar en voor ons) duidelijk herkenbare soorten door het leven te gaan. De vinkensoorten in kwestie verschilden bijvoorbeeld duidelijk in de zang die de mannetjes lieten horen. Soortgenoten konden elkaar zo zonder moeite herkennen. Toch bleef het vreemd dat sommige soorten nauwelijks DNA-verschillen lieten zien, terwijl andere Galápagosvinken genetisch wel duidelijk van elkaar verschilden.

De Grants onderzochten daarom of er niet af en toe kruisingen tussen de soorten optraden, waardoor hun DNA vermengde. Nu houden biologen niet van het idee dat diersoorten kruisen. Dat een soort niet met andere soorten kruist, is nu juist wat een soort tot soort maakt. Als soorten willekeurig konden kruisen, zouden de onderlinge verschillen gauw verdwijnen. Je begrijpt in dat geval ook niet meer hoe er door evolutie zoveel aparte soorten zijn ontstaan. Voor biologen is het hele idee daarom zoiets als vloeken in de evolutionistische kerk. Hoe het ook zij, de Grants namen gewoon de proef op de som en ze stelden vast dat er wel degelijk kruising optreedt, en vaker dan men ooit had vermoed. Wat een verklaring gaf voor de geringe genetische verschillen tussen sommige soorten.

Een volgende vraag is nu of de bastaarden die uit zulke kruisingen voortkomen een rol spelen in het evolutieproces op de eilanden. Bastaarden zijn vaak onvruchtbaar, maar de Grants hebben al geconstateerd dat sommige vinkenbastarden zich wél voortplanten. Of ze belangrijk zijn voor het verloop van de vinkenevolutie is nog een open vraag, maar zeker is dat de evolutie van de darwinvinken op deze manier een erg complexe geschiedenis kan worden.

De Grants zitten er niet mee. Eens te meer maken de vin-

ken hun reputatie als voorbeeld van ‘evolutie in actie’ waar. En overall ter wereld houden evolutiebiologen de adem in als er een nieuwe publicatie van de Grants op komst is.

Waarneming en theorie

Voor het wetenschappelijke genie is kijken begrijpen: Newton zag een vallende appel en begreep de werking van de zwaartekracht; Darwin zag de Galápagos-vinken en doorgrondde het evolutieproces. Zulke genieën bestaan niet, kunnen we veilig zeggen. Darwin was wel degelijk een eersterangs onderzoeker. Velen voor hem hadden rond de wereld gereisd en gezien wat hij zag. Alleen Darwin gebruikte zijn waarnemingen om de stabiliteit van de soorten ter discussie te stellen. Dat was zijn grote verdienste. Niettemin: de aanblik van een paar vinken was niet genoeg om van Darwin een evolutionist te maken. Net als Newton had hij meer dan twintig jaar nodig om zijn theorie uit te werken.

David Lack was al evolutionist toen hij de eilanden bezocht. Hij verzamelde veel meer waarnemingen over de verschillende soorten en over hun verspreiding over de eilanden. In het model voor de vinkenevolutie dat hij ontwikkelde, verwerkte hij zijn darwinistische overtuiging dat natuurlijke selectie verantwoordelijk is voor het ontstaan van soortkenmerken. Zo kwam hij tot de veronderstelling dat de vinkensnavels door selectie aangepast waren aan het dieet van de vogels.

Nieuwe observaties van de Grants waren nodig om dit idee te onderbouwen. Op hun beurt deden De Grants waarnemingen die te denken geven over de evolutietheorie. Onverwacht bleek het DNA van enkele soorten bijna identiek. Dat kon wijzen op soortenkruising. Of bastaarden een rol spelen in de evolutie van de vinken, laat zich alleen nog maar raden.

Dat vergt weer nieuwe waarnemingen.

Alleen het denkbeeldige genie kijkt en begrijpt. Een wetenschapper denkt na over een probleem, doet waarnemingen, krijgt een vermoeden, doet nieuwe waarnemingen, bedenkt een theorie, probeert de theorie met waarnemingen te onderbouwen, past de theorie aan, confronteert onverwachte waarnemingen met de theorie, bouwt de theorie uit, doet opnieuw waarnemingen... enzovoort. En met elk beetje kennis dat hij opdoet, realiseert hij zich hoeveel hij nog niet begrijpt.

4

Joule's meetkunst

Door meten tot weten?

Korter en krachtiger kun je wetenschap niet karakteriseren: door meten tot weten. Natuurlijk, wetenschap is meer dan meten. Het doel is theorieën te bedenken die de natuurverschijnselen verklaren. Maar een theorie over iets hebben is nog geen weten. Om te weten moet je meten: je moet metingen of waarnemingen gaan doen in de vrije natuur of in het laboratorium. Hoe mooi je theorie ook lijkt, als je metingen haar niet steunen heb je een probleem. De metingen zijn de vuurproef.

Boeken en krantenartikelen over wetenschap concentreren zich meestal op de nieuwe theorie die een wetenschapper heeft bedacht en op de experimenten waarmee de theorie is getest. Ook wordt natuurlijk verteld welke resultaten de proeven hebben opgeleverd. Maar hoe het meten of waarnemen verliep, daar lees je zelden iets over. Dat lijkt ook wel begrijpelijk: wat valt er meer over te vertellen dan dat de onderzoekster haar instrumenten heeft afgelezen en haar waarnemingen heeft opgeschreven? Als een experiment eenmaal is uitgedacht en technisch uitgevoerd kan worden, dan is het eigenlijke meten toch een peulenschil?

Was dat maar waar. Zeker als je je op onbekend gebied bevindt, zijn er veel onzekerheden. Hoe nauwkeurig moet je



Afbeelding 4.1: James Prescott Joule werd in 1818 geboren in Salford bij Manchester. Hij kwam uit een familie van bierbrouwers. Hij kreeg privé-onderwijs en volgde geen formele opleiding. Hij had ook nooit een officiële baan en leefde van de inkomsten van de brouwerij. De natuurkunde was voor hem een serieuze hobby. Hij overleed in 1889 in het Engelse Sale.

meten, en hoe vaak? Hoe weet je of je het goed doet? En meet je eigenlijk wel wat je denkt te meten? Zelfs als je weet hoe het moet, is goed meten geen kinderspel. Dat ondervinden wetenschappers aan den lijve wanneer ze proberen een experiment van een andere onderzoeker te herhalen.

Elk experiment moet herhaalbaar zijn. Dat is een van de fundamenteën van de wetenschap, want alleen zo kunnen wetenschappers elkaars werk controleren. Op papier is het herhalen van een experiment een fluitje van een cent. Onderzoeker B doet gewoon precies na wat onderzoeker A deed, en als het goed is krijgt B dan hetzelfde resultaat. Maar in de praktijk valt dat tegen. Het blijkt meestal een hele toer om A's metingen te reproduceren. Soms is er zelfs advies of hulp van A nodig voordat B erin slaagt tot dezelfde uitkomsten te komen. En als A zich er zelf mee moet bemoeien, is het dan nog wel een eerlijke herhaling?

Goed meten gaat blijkbaar niet vanzelf. Wat maakt het zo lastig? Dat illustreert het volgende voorbeeld, waarin de herhaling van een experiment van de Engelsman James Prescott Joule centraal staat.

Energiebehoud

Veel mensen kennen de naam Joule omdat de eenheid van energie naar hem genoemd is. Die eer viel hem niet voor niets te beurt: Joule was een van de onderzoekers die rond het midden van de negentiende eeuw de wet van behoud van energie formuleerden.

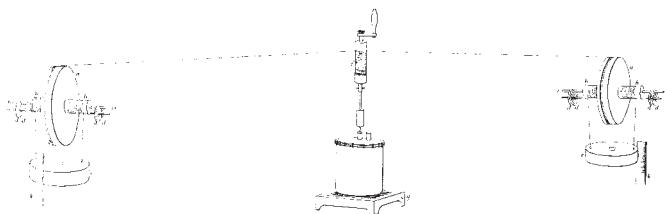
Deze wet houdt het volgende in. Alle natuurkrachten, zoals elektriciteit, warmte, kinetische energie of magnetisme, kunnen begrepen worden als vormen van energie. Deze natuurkrachten zijn in elkaar om te zetten. Dus bijvoorbeeld elektriciteit (elektrische energie) is om te zetten in magnetis-

me (magnetische energie), en omgekeerd. Dit omzetten gebeurt altijd in equivalente hoeveelheden, zodat er voor en na een omzetting precies evenveel energie aanwezig is. Er gaat dus bij de omzetting van de ene vorm van energie in een andere geen energie verloren en er komt geen energie bij. Daarom spreken we over de wet van behoud van energie.

Een van zijn beroemdste experimenten rond dit thema publiceerde Joule in 1850 in de *Philosophical Transactions*, een vooraanstaand wetenschappelijk tijdschrift. De vraag die hij met dit experiment wilde beantwoorden was: als ik een bepaalde hoeveelheid kinetische energie opwek en omzet in warmte, hoeveel warmte-energie ontstaat er dan precies?

Volgens de wet van behoud van energie ontstaat er dan natuurlijk precies zoveel warmte-energie als je kinetische energie hebt omgezet. Daar hoeft je geen experiment voor te doen. Maar 'energie' is een abstract begrip, terwijl Joule geïnteresseerd was in de verhouding tussen de alledaagse grootheden waarin kinetische energie en warmte-energie worden uitgedrukt. 'Kinetische energie opwekken' betekent in gewone termen 'arbeid verrichten'. En 'warmte-energie' verwijst naar de temperatuur van iets, bijvoorbeeld van water. Wat Joule wilde weten was: als ik een bepaalde hoeveelheid arbeid verricht en ik zet die om in warmte, hoeveel graden temperatuurstijging van een bepaalde hoeveelheid water geeft die warmte dan? Kort gezegd: met hoeveel temperatuurstijging is een bepaalde hoeveelheid arbeid equivalent?

Om deze equivalentie te bepalen, bedacht Joule de volgende opstelling (zie afbeelding 4.2). Twee gewichten zijn elk met touwen aan een katrol bevestigd en kunnen met een zwengel worden opgetakeld. Wanneer de zwengel wordt losgelaten vallen de gewichten naar beneden. De afrollende touwen van de gewichten laten een centrale as draaien, die verbonden is met een scheprad. Dit rad zit in een vat met water.



Afbeelding 4.2: Joule's schematische afbeelding van zijn proefopstelling. In het midden het cilindervormige watervat waarin het scheprad ronddraait. In het vat staat de centrale as met bovenaan de zwengel om de gewichten op te takelen. Links en rechts de katrollen met daaraan hangend de schijfvormige gewichten.

Wanneer het rad ronddraait ontstaat er wrijving in het water, waardoor het water warmer wordt. Volgens de wet van energiebehoud moet de temperatuurstijging van het water equivalent zijn met de 'arbeid' die de gewichten verrichten. Want deze arbeid wordt door het draaien van het scheprad omgezet in wrijving, en daardoor in een temperatuurstijging van het water in het vat.

Op papier een eenvoudig experiment dat een duidelijke uitkomst moet geven, namelijk: gewichten met gewicht x die over afstand y naar beneden vallen, geven een temperatuurstijging van het water van z graden. Daarmee heb je dan de equivalentie gevonden tussen arbeid en warmte.

Maar nu de uitvoering. De Duitse wetenschapshistoricus Otto Sibum heeft in de jaren 1990 Joule's experiment herhaald. Niet om na te gaan hoe betrouwbaar Joule's resultaten waren, maar om zelf te ondervinden wat er allemaal bij 'meten' komt kijken. Hij bouwde de proefopstelling precies volgens Joule's instructies en tekeningen na en plaatste de opstelling in een moderne laboratoriumruimte.

Nu was het een kwestie van de gewichten optakelen en weer laten vallen. En dat verschillende keren achter elkaar, om een goed meetbare temperatuurstijging van het water te krijgen.

Zwoegen met Joule

Maar aan optakelen zou Sibum voorlopig niet toekomen. Toen hij met een assistent de laboratoriumruimte binnenging om met het experiment te beginnen, zag hij dat de thermometer die de watertemperatuur moest meten direct begon op te lopen. Nog voordat ze de proefopstelling zelfs maar hadden aangeraakt! Blijkbaar was hun lichaamswarmte al genoeg om de uiterst gevoelige thermometer te laten reageren. Zo'n gevoelige thermometer was nodig omdat de verwachte temperatuurstijging van het water erg klein was: het ging om honderdsten van graden.

Een oplossing leek te zijn het experiment dan maar door één persoon te laten doen, waardoor minder lichaamswarmte vrijkwam. Dat was wel lastiger, omdat die ene experimentator dan én moest takelen én de temperatuur aflezen. Sibum besloot verder om na binnenkomst in de experimenteeruimte een uur te wachten, zodat de thermometer kon stabiliseren. Maar telkens wanneer hij de thermometer wilde aflezen, begon die door zijn lichaamswarmte toch nog te schommelen, en hier was niets aan te doen.

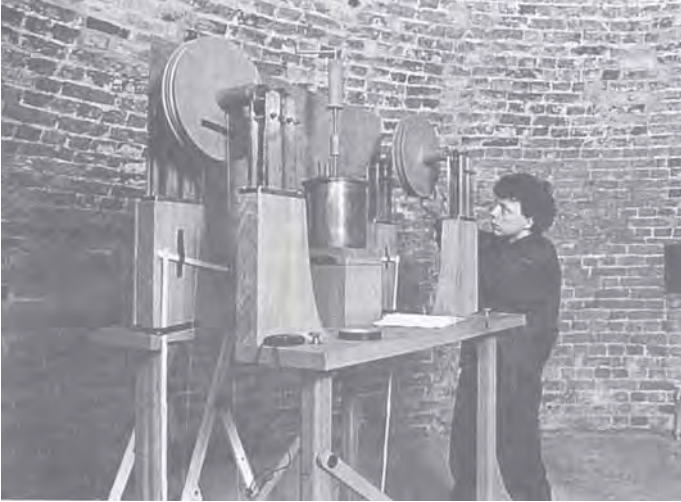
Toen Sibum met het optakelen van de gewichten wilde beginnen, stuitte hij op een nieuw probleem. De zwenkel waarmee moest worden getakeld, bleek ongeschikt voor het werk. Er was een veel zwaarder model nodig dan Joule in zijn artikel had afgebeeld. Toen er een betere zwenkel gemonteerd was, ging het nog niet goed. Het touw waaraan de gewichten hingen, brak om de haverklap. Zelfs een sterke vislijn hield

het niet lang. De krachten die op de onderdelen werkten, lieten het hele apparaat vervaarlijk schommelen en trillen. De katrollen liepen niet netjes gelijk, de centrale as trok scheef en dreigde te breken, en het scheprad bewoog hortend en stotend door het water.

Al bleef de opstelling nog net heel, een betrouwbaar resultaat was met al die onregelmatigheden en fricties natuurlijk niet te verwachten. Je zou denken dat de opstelling robuuster moest worden gemaakt, maar de draaiende onderdelen waren niet zonder reden heel licht uitgevoerd. De wrijvingsweerstand van de katrollen en de centrale as moest zo laag mogelijk blijven. Doel van het experiment was immers dat de arbeid die de gewichten leverden helemaal in een temperatuurstijging van het water werd omgezet. Frictie in de katrollen en de as gaf ongewenst energieverlies, dus die onderdelen moesten zo licht mogelijk zijn. Het enige dat er voor Sibus opzat, was net zo lang te oefenen tot alles gladjes ging.

Oefenen bleek om nog een andere reden nodig. Joule had gewerkt met gewichten van zo'n 13 kilo. Om een goed meetbare temperatuurstijging van het water te krijgen, moesten ze twintig keer tot een hoogte van 1,40 meter worden opgetakeld en weer losgelaten. En dat in zo kort mogelijke tijd, om warmteverlies van het water aan de omgeving te voorkomen. Joule schreef dat hij het hele experiment in 35 minuten had gedaan.

Sibus moest vaststellen dat zijn beroemde voorganger blijkbaar uit ander hout was gesneden dan hijzelf. Joule's voorschrift kwam neer op een staaltje krachtpatserij dat hij op geen stukken na kon evenaren, zelfs niet met de hulp van een assistent. Bovendien gaf Sibums gezwoeg en gezweet natuurlijk weer problemen met de thermometer. Alleen een getrainde atleet leek het kunstje te kunnen klaren zonder er al te



Afbeelding 4.3: Sibum aan het werk in de kruittoren.

hinderlijk bij te zweten. Zou Joule voor het takelwerk een kleerkast hebben ingehuurd?

Hoe dan ook, Sibum besloot het anders aan te pakken en de gewichten dan maar veel lichter te maken. De thermometer bleef desondanks onrustig. Pas na verloop van tijd kreeg Sibum de handigheid om de schommelingen beperkt te houden. Hoe Joule het precies had gedaan, bleef een raadsel. In zijn artikel zei hij daar niets over, afgezien dan van de droge opmerking dat hij zelf heel bedreven was in het hanteren van de thermometer. Dit was des te frustrerender omdat Joule het inderdaad behoorlijk goed had gedaan, zoals we nog zullen zien.

Scheprad

Sibums tegenslag was nog niet voorbij. Hoewel hij Joule's beschrijving van de experimentele opstelling precies had gevolgd, gedroeg zijn apparaat zich heel anders. Dat bleek uit het feit dat de snelheid van de vallende gewichten flink afweek van de snelheid die Joule had gerapporteerd. De enige verklaring was dat Joule's scheprad op een andere manier door het water bewoog dan Sibums kopie. Nu bleek uit Joule's eerdere publicaties dat hij verschillende scheprad-types had ontwikkeld. Zou hij, net als bij de zwenkel, voor zijn experiment een ander type hebben gebruikt dan hij in zijn publicatie van 1850 had afgebeeld?

Sibum had geluk: in het Science Museum in Londen vond hij een ander model dat door Joule was gemaakt. Hij liet er een kopie van maken en nam die in zijn proefopstelling op. En inderdaad: de gewichten vielen nu met ongeveer dezelfde snelheid naar beneden als in Joule's experiment.

Een verdere verbetering bereikte Sibum door zijn opstelling te verplaatsten. Joule meldde dat hij zijn proef gedaan had in een grote koele kelderruimte onder de brouwerij in Manchester waarvan de familie Joule eigenaar was. Dat had een reden, realiseerde Sibum zich: in zo'n ruimte is de verstoring door lichaamswarmte minder. Hij verhuisde zijn opstelling daarom naar een oude kruittoren waar vergelijkbare omstandigheden heersten als in Joule's kelder. De schommelingen van de thermometer bleken hier inderdaad beter te beheersen.

Maar allerlei grotere en kleinere onzekerheden bleven bestaan. Bijvoorbeeld: wanneer kon de proef als afgerond worden beschouwd? Als de experimentator uitgetakeld was, bereikte de thermometer pas vier tot zes minuten later een stabiele waarde. Wat was dan de juiste meetwaarde? En hoe-

veel warmte verloor het watervat tijdens het experiment wel niet aan de omgeving? Een hele kunst bleek ook het nauwkeurig aflezen van de gevoelige thermometer. Met een vergrootglas ging dat beter. Hoe Joule zo nauwkeurig had aflezen als hij opgaf, bleef een open vraag.

Toen Sibum de proef eindelijk naar beste kunnen had herhaald, kon hij gaan rekenen. De totale hoeveelheid energie die de gewichten door hun arbeid leverden, vond hij door hun gezamenlijk gewicht te vermenigvuldigen met de afstand waarover ze naar beneden waren gevallen. En dit getal moest worden vermenigvuldigd met het aantal keren dat de gewichten waren opgetakeld en gevallen. De hoeveelheid warmte die in het water was opgewekt, was gelijk aan de temperatuurstijging vermenigvuldigd met het gewicht van het water.

Enige omrekening van deze gegevens gaf het volgende eindresultaat. Een temperatuurstijging van 1 graad Fahrenheit in 1 Engelse pond water is equivalent met de arbeidsenergie geleverd door een gewicht van 746,9 Engelse pond dat over een afstand van 1 Engelse voet naar beneden valt.

Joule bleek het beter te hebben gedaan: hij had een waarde van 772,7 pond gevonden, en daarmee zat hij dichterbij de 776,1 pond die moderne metingen aangeven. Hierbij moet je dan nog bedenken dat Sibum naar een al bekend resultaat toe kon werken, terwijl Joule daar geen idee van had. Joule was een meester in meten.

Metten en weten

Als we het over 'weten' hebben, bedoelen we kennis die altijd en overal opgaat. De metingen waarop die kennis is gebaseerd, moeten dus altijd en overal herhaald kunnen worden. Maar metingen doen, en dus ook metingen herhalen, is alles behalve eenvoudig. Metingen herhalen lukt eigenlijk alleen

bij benadering. Er blijven altijd verschillen: in de proefopstelling, in de handigheid van de onderzoeker, in de lokale omstandigheden.

Wij vinden nu dat de uitkomst die Joule kreeg in orde is: het is een goede benadering van de beste moderne metingen. Maar Joule's tijdgenoten hadden alle reden daar sceptisch over te zijn. Was Joule's uitkomst niet een toevallig resultaat dat alleen voor zijn kelder en zijn proefopstelling gold? Zaten er niet zo veel foutenbronnen in zijn opstelling dat de gevonden waarde zelfs niet bij benadering klopte?

Dat Joule's uitkomst een goede benadering was van een altijd en overal geldig resultaat, dat moest eerst maar eens door anderen worden bevestigd. Sibums pogingen Joule na te doen illustreren hoe lastig dat kan zijn. Want hoe nauwkeurig een onderzoeker zijn experiment ook heeft beschreven, er blijven altijd aspecten over die niet te beschrijven zijn.

Net als Sibum moet Joule er bijvoorbeeld voor hebben gezorgd dat zijn opstelling regelmatig en schokvrij bewoog. Maar hoe deed hij dat? We zullen het nooit weten. Hoe je het moet doen, is ook niet precies uit te leggen. Het is net als met leren zwemmen of fietsen: instructies helpen wel iets, maar ze zijn niet voldoende. Om het kunstje zelf onder de knie te krijgen is handigheid en ervaring nodig, en die krijg je alleen door oefening.

Dat geldt ook voor Joule's gebruik van de thermometer. Volgens Sibum dankte Joule zijn handigheid met de thermometer waarschijnlijk aan zijn werk in de brouwerij. Ook bij het controleren van gistende brouwsels is een goed thermometergebruik even belangrijk als lastig. Om het experiment van Joule te kunnen herhalen, moest Sibum zich dit 'vakmanschap' eigen maken. Wetenschap bedrijven heeft ambachtelijke kanten.

Soms is niet uit te leggen hoe iets moet, en soms is het ook

onmogelijk om te controleren of iemand het goed doet. Joule's tijdgenoten konden niet nagaan of hij zijn thermometer goed aflas. Immers: er mocht niemand in de experimenteer-ruimte komen want dat gaf te veel temperatuurschommelingen. Om zijn meetgegevens te accepteren moest je vertrouwen op zijn meetkunst. Geen wonder dat menigeen sceptisch was.

Om die scepsis weg te nemen kun je een experiment herhalen, zoals Sibum deed. Maar als je wilt kun je altijd sceptisch blijven. Je kunt een experiment immers niet op elke plek op aarde herhalen om te zien of het daar ook nog klopt. In theorie kan het altijd nog ergens misgaan. Maar normaal gesproken hebben wetenschappers een sterk geloof in de algemene geldigheid van hun resultaten. In de praktijk zijn ze al heel tevreden wanneer het lukt een experiment te herhalen met ongeveer dezelfde uitkomst. Dat kost al moeite genoeg.

5

Diesels droom

Van theorie naar toepassing

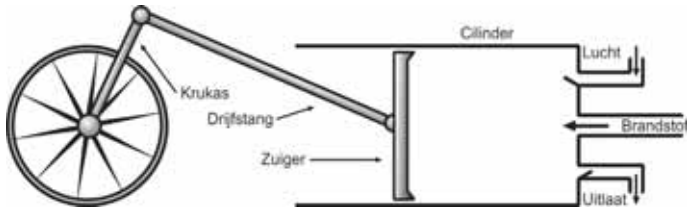
Het is de droom van elke uitvinder: je naam verbinden aan een uitvinding die iedereen kent. De Duitse ingenieur Rudolf Diesel is het gelukt, en hoe. Alleen de beginletter van zijn naam is al genoeg, want bijna iedereen weet waar de D achter de typeaanduiding van auto's voor staat. Op de snelweg hoef je maar even om je heen te kijken en je ziet een diesel rijden. Bijvoorbeeld een vrachtauto van MAN, de Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, de fabriek waar de dieselmotor ruim honderd jaar geleden werd geboren.

Diesels levensverhaal heeft alle kenmerken van een Hollywood-sprookje: de eenvoudige komaf, de brandende ambitie om beroemd te worden, de jarenlange eenzame arbeid, de dreigende mislukking, en ten slotte de eeuwige roem. Alleen, het sprookje eindigde voortijdig in een drama. In 1913 pleegde Diesel zelfmoord. Dat was des te tragischer omdat de dieselmotor juist op dat moment begon door te breken.

Diesel was te ongeduldig geweest. Hij had een nieuw type motor uitgevonden en een fabrikant bereid gevonden er een commercieel product van te maken. Het enige dat hem verder te doen stond, dacht Diesel, was nog lang en gelukkig te leven. Dat was een fatale vergissing. Het sprookje van de dieselmotor werd op dat moment pas echt spannend.



Afbeelding 5.1: Rudolf Diesel werd in 1858 in Parijs geboren uit Duitse ouders. Zijn vader was boekbinder. Diesel studeerde in 1880 in München af als ingenieur. Als uitvinder en ondernemer werkte hij eerst in Frankrijk en later in Duitsland. In 1913 kwam er een zelfgekozen einde aan zijn leven.



Afbeelding 5.2: Schema van een verbrandingsmotor. (Voor 'bewegende' motoren zie: www.deutsches-museum.de/mum/interakt/big/vr1.htm en www.walburgcollege.nl/vakken/natuurkunde/ntnujava/diesel_nl/diesel_nl.html)

Het idee

In zijn jonge jaren joeg Rudolf Diesel zichzelf op tot ongezond lange werkdagen. Hij had maar een passie: een motor te ontwikkelen die een hoger rendement had dan de belangrijkste krachtbron van de negentiende eeuw, de stoommachine. Diesel werkte voor een fabrikant van koelmachines, wat hem de gelegenheid gaf tot experimenteren. Zo probeerde hij een motor te ontwerpen die op ammoniakdamp liep. Ook deed hij proeven met zonne-energie – en dat in de jaren 1880!

Ondanks de vele uren die hij erin stak, bleken het allemaal valse starts. Pas na acht jaar van proberen vond Diesel in 1890 een aanpak die hoopvol leek. Twee jaar later had hij het basisontwerp uitgewerkt van wat de dieselmotor zou worden. Wat precies het nieuwe was aan deze motor is nog niet zo eenvoudig te zeggen. De meeste basisprincipes die Diesel toepaste, waren al eerder bedacht. Dat zou later dan ook problemen geven bij de patentaanvraag. Nieuw was wel de combinatie van principes die hij bij elkaar bracht. Maar het belangrijkste was natuurlijk dat Diesel slaagde in zijn opzet: zijn motor had een hoger rendement dan de stoommachine. Hoe lukte hem dat?

In zijn allersimpelste vorm is een verbrandingsmotor te vergelijken met een kanon. De loop van het kanon is de cilinder van de motor; de kanonskogel is de zuiger. Achter in de kanonloop wordt het kruit aangestoken, waardoor de kogel wegschiet. Precies zo wordt achter in de cilinder van de motor de brandstof ontstoken, waardoor de zuiger met kracht naar buiten beweegt. Voor een volgend schot van het kanon moet je een nieuwe kogel in de loop brengen en kruit bijvullen. Hetzelfde bij de motor: voor een nieuwe 'slag' moet de zuiger worden teruggeduwd en nieuwe brandstof worden ingespoten.

Verschil is er eigenlijk alleen in de manier waarop de kogel en de zuiger hun werk doen. De kogel levert arbeid door uit de loop te schieten en de vijand een kopje kleiner te maken. De zuiger blijft in de cilinder en levert zijn arbeid door krachtig te bewegen. Je kunt deze zuigerarbeid gebruiken door aan de zuiger een drijfstaag vast te maken die bijvoorbeeld een wiel aandrijft.

Diesels leidraad bij al zijn experimenten was de wetenschappelijke theorie van de ideale warmtemotor van de Franse ingenieur Sadi Carnot. In zo'n ideale warmtemotor wordt tijdens de slag van de motor alle warmte uit de brandstof gebruikt om de zuiger te bewegen, dus om arbeid te produceren. Dit betekent dat er geen warmte verloren gaat door het heet worden van de cilinder. Dus hoewel er achter in de cilinder verbranding plaatsvindt, blijft de temperatuur van de cilinder tijdens de slag van de motor onveranderd.

Het rendement dat je uit je brandstof krijgt, het zogenaamde thermisch rendement, is in dit ideale geval honderd procent: alle verbrandingswarmte wordt omgezet in arbeid. In de praktijk is dit onmogelijk, wist ook Carnot. Er zijn altijd verliezen door wrijving en uitstraling. Warm worden van een motor valt nooit helemaal te voorkomen. Het thermisch

rendement is in de praktijk dus nooit honderd procent.

De stoommachines in Diesels tijd kwamen niet eens in de buurt. Ze hadden een schrikbarend laag thermisch rendement van zo'n zeven procent. Dat moest beter kunnen, dachten veel ingenieurs.

Een belangrijke stap in de goede richting was de verbranding achter in de cilinder te laten plaatsvinden, zoals we dat zonet al hebben beschreven. Bij de stoommachine vond de verbranding namelijk nog buiten de cilinder plaats, in een kolengestookte oven. Met de verkregen warmte werd water in stoom omgezet, en deze stoom werd in een stoomketel onder druk gehouden. Van daaruit werd de stoom dan naar de cilinder geleid om de zuiger arbeid te laten verrichten. Voordat de stoom de cilinder bereikte, waren er al flinke warmteverliezen opgetreden door opwarming en uitstraling van oven en stoomketel. Vond de verbranding in de cilinder zelf plaats, dan was je van zulke verliezen af.

Vóór Diesel hadden verschillende ingenieurs met dergelijke motoren geëxperimenteerd. Bijvoorbeeld de machinebouwer Otto, die – inderdaad – de ottomotor ontwierp. Otto werkte niet met kolen en stoom maar met een gasmengsel, dat in de cilinder zelf met een vlam tot ontbranding werd gebracht. Het gasmengsel zette dan sterk uit en dreef zo de zuiger naar buiten. De moderne benzinemotor werkt nog steeds volgens dit principe. Het thermisch rendement van de ottomotor was lang niet slecht: veertien procent, twee keer zo hoog als bij de stoommachine.

Diesel paste ook verbranding binnen de cilinder toe, maar daarmee was hij nog niet tevreden. De cilinder van de ottomotor werd door de verbranding erg heet, en zo ging veel warmte verloren. In de ideale motor van Carnot wordt de cilinder geen graad warmer, en Diesel beredeneerde dat dit ideaal te benaderen was door de volgende maatregelen te nemen.

Om te beginnen moest het brandstofmengsel vlak voor het moment van ontsteken onder hoge druk staan. Diesel dacht aan een druk van wel 250 atmosfeer. Je krijgt dan bij ontsteking een enorm krachtige expansie van het mengsel, en bij expansie daalt de temperatuur. Als deze temperatuurdaling nu precies even groot is als de temperatuurstijging die door de verbranding wordt veroorzaakt, dan neutraliseren ze elkaar en blijft de cilindertemperatuur onveranderd.

Om zo'n evenwicht te bereiken was een nauwkeurig gedoseerde verbranding en dus een doordachte samenstelling van het brandstofmengsel noodzakelijk. Volgens Diesels berekeningen was een mengsel van veel lucht en een beetje brandstof (in een verhouding van 100:1) nodig om temperatuurstijging te voorkomen. Dat stelde wel eisen aan de verdeling van de brandstof over de lucht, wilde je een regelmatige verbranding krijgen. In de ottomotor werd het brandbare mengsel eenvoudig in de cilinder gebracht en aangestoken. Diesel ging uit van een injectiesysteem dat de brandstof vlak voor de verbranding in de cilinder bracht en heel gelijkmatig over de lucht verdeelde.

Een bijzonder element in Diesels ontwerp was dat de ontsteking van de brandstof spontaan verliep. Dat was het gevolg van de hoge druk die in de cilinder werd opgewekt. Want bij drukverhoging stijgt de temperatuur, en bij 250 atmosfeer bereikte de temperatuur in de cilinder een waarde die ver boven de ontbrandingstemperatuur van de brandstof lag. Bij deze zogenoemde compressie-ontsteking was een apart ontstekingsmechanisme dus niet nodig.

Diesel berekende dat zijn motor een ongekend thermisch rendement van ruim zeventig procent zou kunnen halen. Al werd daarvan in de praktijk maar de helft gerealiseerd, dan was dat nog steeds revolutionair. In momenten van euforie dacht Diesel dat het einde van het stoomtijdperk nabij was.

De ontwikkeling

De wetenschappers die Diesel naar hun mening vroeg, reageerden positief op zijn ontwerp. Zij waardeerden Diesels inzet om volgens wetenschappelijke inzichten te werk te gaan. Theoretisch gesproken was zijn gedachtegang naar hun idee in orde.

Anderen waren sceptischer. Dat bleek toen Diesel patent op zijn motor aanvraagde. Tot vier keer toe kreeg hij zijn aanvraag terug met verzoeken om verduidelijking. Het patentbureau had vooral twijfels over de originaliteit van het ontwerp. Zoals gezegd waren bijna alle principes van Diesels motor ook al door anderen bedacht. Alleen de compressieontsteking was origineel, al waren andere ingenieurs dicht in de buurt gekomen.

Diesel legde in zijn verweer de nadruk op de unieke combinatie van elementen die hij toepaste en op de wetenschappelijke gedachtegang die erachter zat. In zijn motor was alles erop gericht de verbranding en expansie in de cilinder bij gelijkblijvende temperatuur te laten verlopen. Niemand voor hem had dit theoretische ideaal zo consequent nagestreefd. Dit argument vond het patentbureau overtuigend. Nadat Diesel zijn aanvraag had toegespitst op de gelijkblijvende temperatuur in de cilinder, werd het patent toegekend. Van die toespitsing zou hij later nog spijt krijgen.

Ook praktijkmensen, zoals ingenieurs en industriëlen, waren niet direct enthousiast over Diesels ontwerp. In hun ogen was de dieselmotor een luchtkasteel: aardig in theorie, maar in de praktijk niet te realiseren. Het begon al met de absurd hoge druk van 250 atmosfeer in de cilinder: dat was technisch gewoon onhaalbaar.

Een ander bezwaar was dat Diesels eigen berekeningen al het ergste lieten vrezen voor het nuttig arbeidsvermogen van

zijn machine. De cilinder bevatte heel veel lucht en die moest bovendien sterk expanderen. Dat betekende dat de cilinder onhandig groot moest zijn. Wat erger was: na de slag van de motor moest al die lucht opnieuw onder hoge druk worden gebracht voor de volgende slag, en dat kostte veel te veel energie. Anders gezegd, de marge tussen kosten en baten was te smal. In theorie was de marge in Diesels ontwerp nog net positief, maar in de praktijk moest alles dan wel perfect draaien of er bleef geen nuttig te gebruiken arbeidsvermogen meer over.

Deze praktijkmensen zagen in dat Diesel zich had blindgestaard op het thermisch rendement: alles was gericht op het zo effectief mogelijk omzetten van de brandstofenergie in beweging van de zuiger. Het thermisch rendement was bij Diesels motor inderdaad geweldig. Maar als je vervolgens bijna net zoveel energie nodig had om de motor na zijn slag weer in de uitgangspositie te brengen, dan schoot je met dat hoge thermisch rendement weinig op. Bij een stoommachine mocht het thermisch rendement dan veel lager zijn, er kwam wel veel bruikbaar vermogen beschikbaar, en daar ging het uiteindelijk toch om. De stoommachine verslond brandstof maar was wel heel sterk. Diesels machine was zuinig maar had weinig vermogen.

Diesel begreep dat aanpassingen nodig waren. Al was het maar omdat anders geen fabriek met hem in zee zou gaan. De eerste fabrieksdirecteuren die hij benaderde, gaven hem inderdaad te verstaan dat zijn ontwerp onuitvoerbaar was. Pas toen hij met meer realistische voorstellen kwam, raakten Maschinenfabrik Augsburg (de voorloper van MAN) en de firma Krupp geïnteresseerd.

Of dit betekende dat men overtuigd was van de kwaliteiten van de dieselmotor is nog maar de vraag. Voor beide fabrieken was de motorenmarkt belangrijk, en misschien ging

het er vooral om een potentiële nieuwe ontwikkeling in eigen huis te houden. Hoe dan ook, Diesel werd uitgenodigd een testmotor te bouwen en kreeg werkruimte in de Maschinenfabrik Augsburg.

In totaal zou Diesel tussen 1893 en 1897 drie modellen bouwen. Zijn labjournaal uit deze jaren laat zien dat het een tijd van vallen en opstaan was. Toen hij bijvoorbeeld voor het eerst brandstof in de cilinder injecteerde, volgde er een daverende explosie. Een klep werd verbrijzeld en de stukken vlogen alle kanten op. Maar Diesel en zijn technici, nog nauwelijks bekomen van de schrik, keken elkaar glunderend aan: het idee van spontane ontbranding onder hoge druk werkte!

Behalve dat het werk soms gevaarlijk was, valt op dat er veel tijd en energie ging zitten in het oplossen van onvoorziene problemen. Dat een druk van 250 atmosfeer technisch niet haalbaar was, had Diesel al snel geaccepteerd. Het moest dan maar met zo'n 150 atmosfeer. Maar de praktijk leerde dat een druk van 30 à 40 atmosfeer het maximum was dat hij kon bereiken. En dan nog waren er steeds problemen door lekkage en slijtage. De hoge temperaturen waarmee werd gewerkt, maakten het alleen maar erger. Er moest telkens weer worden geëxperimenteerd met nieuwe materialen om te zien of die zich beter hielden.

Het meest hardnekkige mankement was dat de motor niet regelmatig wilde lopen. Vaak hield hij er met een onverklaarbare knal helemaal mee op. Het vergde maanden onderzoek om dit te verhelpen. Heel verschillende factoren bleken een rol te spelen.

De maten en de vorm van de verbrandingsruimte hadden bijvoorbeeld invloed op de verbranding. De motor bleek ook heel gevoelig voor het soort brandstof, en de samenstelling van het brandstofmengsel luisterde nauw. Dit was onbekend terrein, en er zat niets anders op dan uitproberen wat het bes-

te werkte. De manier waarop de brandstof werd ingebracht, maakte ook veel verschil. Allerlei insputings- en vernevelingsmechanismes werden bedacht en getest. Dit onderdeel van de motor zou erg kwetsbaar blijven, vooral omdat het veel onderhoud nodig had.

Een heel andere complicatie, waar Diesel weinig aan kon doen, was dat de motor steeds verder af kwam te staan van het gepatenteerde ontwerp. Stuk voor stuk moesten de principes waarop het ontwerp rustte worden opgegeven, simpelweg omdat ze praktisch niet te realiseren waren.

Het idee van een extreem hoge druk was al in een vroeg stadium gesneuveld. De opzet om een verbrandingsmengsel met veel lucht te gebruiken, bleek ook niet uitvoerbaar. Dat vereiste niet alleen een onwerkbaar grote cilinder maar gaf bovendien een slechte verbranding. Een goede benutting van de brandstof kreeg Diesel alleen als er niet meer lucht in de cilinder zat dan voor de verbranding nodig was. Dit had als consequentie dat hij het centrale uitgangspunt van zijn ontwerp moest opgeven, namelijk de expansie bij gelijkblijvende temperatuur – daar was die extra lucht immers voor bedoeld. En dit betekende weer dat een koelsysteem nodig was, omdat de cilinder zonder extra lucht erg heet werd.

Van Diesels oorspronkelijke ideeën bleef eigenlijk alleen het werken met hoge druk en met compressie-ontsteking over. Hoge druk betekende tussen de 30 en 40 atmosfeer, gelukkig nog genoeg om spontane ontsteking te krijgen. Diesel en zijn opdrachtgevers maakten zich in de ontwikkelingsfase niet zo druk over al deze aanpassingen. De eerste zorg was de machine aan de praat te krijgen, wat al lastig genoeg was. Maar anderen zouden later terecht vragen of de motor die als de eerste werkende dieselmotor werd gepresenteerd nog wel iets met het gepatenteerde ontwerp te maken had.

Hoe dan ook, in 1897 dacht Diesel alle technische proble-

men de baas te zijn. De motor liep en leverde indrukwekkende prestaties. Hij had een thermisch rendement van bijna 32 procent en was ongeveer twee keer zo zuinig als andere verbrandingsmotoren. 'De moeilijke tijd is voorbij', schreef Diesel in een brief aan zijn vrouw, 'met een motor van deze kwaliteit zal nu verder alles vanzelf gaan'. Dat was veel te vroeg gejuicht.

Naar de markt

Eerst leek er nog niets aan de hand. De pers kondigde de nieuwe motor aan als een sensatie. De testresultaten maakten diepe indruk en Diesels naam ging de hele wereld over. Augsburg en Krupp namen de motor in productie en begonnen met de uitgifte van licenties aan andere fabrieken. Diesel deelde in de winst en kreeg de rechten voor de buitenlandse licenties. Binnen een jaar had hij al 87 overeenkomsten in 17 landen afgesloten. Zo werd hij in korte tijd miljonair.

Een bedreiging van het succes kwam van twee aanvallen op het patent. Beide keren ging het om ingenieurs die beweerden dat Diesel principes had toegepast die zij zelf al jaren eerder hadden bedacht. Daar kwam bij dat wat de motor volgens het patent uniek maakte, in de commerciële versie niet was gerealiseerd, namelijk de expansie bij gelijkblijvende temperatuur. Een juridisch steekspel was het gevolg. Maar voordat het gevaarlijk kon worden, werd een schikking overeengekomen. Voor flinke geldbedragen trokken de ingenieurs hun beschuldigingen in.

Het echte onheil kwam uit een andere hoek. Wat niemand zich had gerealiseerd, was dat het eindeloze sleutelen niet alleen de machine zelf had geperfectioneerd, maar ook de bediening ervan door Diesels technici. Om hem goed te laten lopen, had de motor constante aandacht nodig. Waren er

geen lekkende kleppen, liep de zuiger wel soepel, werkte de inspuiting nog goed, was de verstuiver niet verstopt, was de brandstofkwaliteit in orde, enzovoort. Was er ook maar iets niet in de haak, dan hield de motor ermee op, als een nerveus springpaard dat bij de minste aanleiding weigert. Zonder er erg in te hebben, waren Diesels technici bijna onmisbaar geworden om de motor goed te laten functioneren.

Dat wreekte zich bij de verkochte dieselmotoren meteen. Ze werden bediend door fabriekswerkers die gewend waren aan de stoommachine, een braaf werkpaard dat ook bij ruwe behandeling stoïcijns doet wat er gevraagd wordt. Gevolg was dat de dieselmotoren er binnen de kortste keren mee ophielden en meer in reparatie waren dan in bedrijf. Om de haverklap moest de fabriek in Augsburg haar eigen technici eropuitsturen om vastgelopen motoren weer op gang te helpen.

De snelle slijtage van sommige onderdelen was behalve iritant soms ronduit gevaarlijk. Er viel een dode toen een inspuitingssysteem ontplofte. Dit onderdeel bleek zo vaak stuk te gaan dat er een nieuw ontwerp voor gemaakt moest worden. Hetzelfde gold voor de brandstofverstuiver. Een van de eerste kopers klaagde dat een jaar werken met de dieselmotor hem tien jaar van zijn leven had gekost.

Onvermijdelijk stakte de verkoop. Steeds meer fabrieken staakten de productie. Licenties werden teruggegeven. Alsof dat nog niet genoeg was, stegen de diesel-brandstofprijzen in deze periode flink. Dat versnelde de neergang. Buiten Augsburg bleef uiteindelijk nog maar één fabriek over die de productie niet stilzette. Eind 1899 stond de dieselmotor aan de rand van de afgrond. Diesel zelf groeide het allemaal boven het hoofd. Hij stortte in.

Hij herstelde weer, maar financieel kwam hij er nooit meer bovenop. Het meeste geld dat hij aan de licenties verdiend had, was betaald in aandelen, en die waren weinig meer

waard. Ook zijn belangen in de verkoop van motoren door Augsburg en Krupp had hij in bedrijfsaandelen omgezet. Daar kwam bij dat hij ondertussen op grote voet was gaan leven en weinig zakelijk inzicht had. Zijn papieren vermogen moest hij met veel verlies verkopen. Een faillissement kwam steeds dichterbij.

Maar zie, terwijl het met Diesel verder bergaf ging, herrees zijn motor uit de as, om langzaam maar zeker aan een nieuwe opmars te beginnen. De ommekeer was vooral te danken aan enkele technici in Augsburg. Terwijl bijna iedereen de dieselmotor had opgegeven, bleven zij in 'hun' machine geloven. Met stugge volharding gingen ze door met reviseren, net zo lang tot alle kinderziektes achter de rug waren.

In 1900 begonnen de motoren eindelijk naar behoren te draaien en leverden zij inderdaad het rendement dat Diesel had beloofd. Met hun zuinigheid als belangrijk voordeel veroverden ze langzaam maar zeker een deel van de motorenmarkt. In het begin was dat vooral de markt voor middelgrote motoren zoals die in molens, drukkerijen, zagerijen en op werven werden gebruikt. Voor het zwaardere werk bleef de stoommachine de voorkeur verdienen, voor het lichtere de ottomotor. In de Eerste Wereldoorlog zouden de eerste 'mobile' dieselmotoren, voor onderzeeërs, worden geproduceerd. In de jaren 1920-1930 volgden grote motoren voor schepen en treinen, en ten slotte ook kleinere voor vrachtwagens en auto's.

Diesel maakte het herstel nog mee en zag ook zijn eigen aanzien weer stijgen. Maar hij kon zich niet meer optrekken uit het financiële moeras waarin hij was weggezakt. Had hij hulp gevraagd aan zijn zakenpartners, dan had hij die vast wel gekregen. Maar daarvoor was hij te trots. Op 29 september 1913, op een boot naar Engeland, zette Rudolf Diesel een zwart kruisje in zijn agenda en sprong overboord.

Tussen droom en daad

Een uitvinding die zijn naam droeg en wereldwijd bekend werd: Diesels droom kwam wel degelijk uit. Wat Diesel tragisch maakt, is niet alleen dat hij zelfmoord pleegde, maar vooral dat zijn uitvinding toch nog een succes werd. Dat is niet veel uitvinders gegeven. De meeste uitvindingen stranden ergens tussen de tekentafel en de toepassing. Dat er veel tegenslagen overwonnen moeten worden om van een nieuw idee tot een rendabel product te komen, is zeker niets bijzonders. Elk succesverhaal is er een van ups en downs. Een nieuw product maakt kinderziektes door, en soms zijn die levensbedreigend. De dieselmotor doorstond het allemaal, terwijl Diesel er het leven bij liet.

Het was zijn naïeve kijk op uitvinden die Diesel fataal werd. Zijn inschattingsfout was dat hij dacht klaar te zijn toen een kritiek deel van het werk nog moest beginnen. Voor hem was uitvinden: een idee formuleren en laten zien dat het werkt. Het idee was een motor te maken met een beter rendement dan de stoommachine. Toen zijn testmotor in Augsburg liep, was bewezen dat zoiets kon. En dat was het dan, meende Diesel. Het wetenschappelijk-technisch werk was gedaan, de rest zou vanzelf gaan.

De praktijk leerde anders. De machine was totaal niet *fool-proof*. Pas jaren nadat de motor op de markt was gebracht, werd hij eindelijk bedrijfszeker. Maar ook een complicatie van heel andere aard zorgde een tijdlang voor problemen: het omhoog schieten van de brandstofprijis, wat afbreuk deed aan de sterke kant van de motor, zijn zuinigheid.

Niet alle onverwachte wendingen pakten overigens verkeerd uit. Diesel had altijd gedacht dat zijn motor er een voor de kleine ondernemer zou zijn: handzaam, flexibel en zuinig. Maar in dat marktsegment deed de ottomotor het beter. Die-

sels machine bleek wel aantrekkelijk voor middelgrote ondernemingen. Voor het heel zware werk bleef de stoommachine nog lang een betere keus.

Typerend voor hoe uitvinden werkt, is ook het grote verschil tussen de ideeën waarmee Diesel begon en het resultaat waarmee hij eindigde. Diesels vertrekpunt was Carnots theorie van de ideale motor. Maar hij moest de uitgangspunten van die theorie opgeven omdat ze praktisch niet realiseerbaar waren. Zelfs het centrale beginsel, expansie bij gelijkblijvende temperatuur, moest eraan geloven. Diesel had gehoopt dit beginsel te kunnen realiseren met twee hulpmiddelen: hoge druk en compressie-ontsteking. Dat mislukte, maar hoge druk en compressie-ontsteking bleken waardevol op zichzelf. Het werden uiteindelijk de kenmerken van de dieselmotor.

Dat Diesels patent werd aangevallen was niet vreemd; daar was alle reden voor. Ook dit hoort bij uitvinden. Over patenten werd en wordt voortdurend geruzied want geen enkele uitvinding is helemaal origineel. Diesel verdedigde zich door te stellen dat zijn motor de eerste 'rationele' verbrandingsmotor was: hij was het product van een wetenschappelijke theorie en een wetenschappelijke werkwijze. Dat was vooral bedoeld om zijn patent te redden. Diesel had immers ondervonden dat zijn wetenschappelijke ideeën onuitvoerbaar waren. Maar feit blijft dat de theorie van Carnot zijn inspiratiebron was. Diesel was een nieuwe motor gaan bouwen omdat hij de ideale motor wilde benaderen. Bovendien: als Diesel deze theorie in zijn patentaanvraag niet benadrukt had, zou het patent niet eens zijn toegekend.

Uitvinden, kortom, is een onvoorspelbaar proces. Uitvinders maken gebruik van wetenschappelijke en technische kennis, maar dat betekent niet dat uitvinden neerkomt op slim toepassen van theoretische kennis. Er komt veel meer bij kijken. Een werkend testmodel is bovendien nog geen ver-

koopbaar product. En ten slotte is ook het beste product voor zijn succes afhankelijk van de economische omstandigheden en de concurrentie.

Stel dat Diesel dit allemaal van tevoren geweten had. Dan was hij er misschien nooit aan begonnen. Maar misschien ook wel, en wie weet had hij dan nog wel lang en gelukkig geleefd.

6

Wie gelooft er in telepathie? *De betrouwbaarheid van een experiment*

In 1969 rapporteerde het Britse wetenschapsmagazine *New Scientist* over een wonderlijk experiment. Het ging over telepathie.

Een natuurkundige, Helmut Schmidt, had een opstelling gemaakt met vier lampen. Onder elk van de lampen zat een knop. Proefpersonen konden een lamp laten oplichten door een van de knoppen in te drukken. Wanneer ze een knop indrukten, ging willekeurig een van de lampen aan. Er was dus geen specifieke relatie tussen de vier knoppen en de vier lampen. De enige zekerheid was dat er een lamp aanging als je een knop indrukte. De bedoeling was nu dat proefpersonen zouden voorspellen welke lamp zou oplichten als ze een knop indrukten. Dit konden ze doen door de knop in te drukken die zich direct onder de lamp bevond waarvan ze dachten dat die aan zou gaan.

Normaal gesproken verwacht je van proefpersonen een gemiddelde score van 25% goede keuzes. Immers, de opstelling is zo gemaakt dat het toeval bepaalt welke lamp zal aangaan, en de kans dat je op de goede knop drukt is dus een op vier. Maar dat kwam natuurlijk niet uit het experiment – dan was er geen reden tot opwinding geweest. Schmidt liet enkele proefpersonen twintigduizend keer een knop indrukken, en

de uitkomst was dat ze het een stuk beter deden dan verwacht. Om precies te zijn scoorden ze 33% goede keuzes, 8% 'te goed' dus. Dat was behoorlijk opzienbarend: de kans dat je 'per ongeluk' 8% beter scoorde was maar één op tien miljard!

Schmidt publiceerde zijn resultaten een jaar later in een vooraanstaand natuurkundig tijdschrift en gaf daarbij alle details over zijn proefopstelling. Ook beschreef hij de resultaten van een controleproef, waarbij de knoppen in willekeurige volgorde door een machine waren ingedrukt. Je kreeg dan inderdaad de verwachte 25% goede keuzes. Reden voor Schmidt om de proefpersonen telepathische vermogens toe te schrijven.

Pro en contra

Een bekend criticus van de parapsychologie, de psycholoog C.E.M. Hansel, was onder de indruk. Het experiment van Schmidt leek in orde, en het wachten was nu op bevestiging van het resultaat door andere onderzoekers. De eerste tijd na Schmidts publicatie klonken er inderdaad her en der positieve geluiden: andere wetenschappers zouden ook resultaten hebben gekregen die in de richting van telepathie waren. Maar in een artikel uit 1971 kwamen de onderzoekers John Beloff en David Bate tot een negatief resultaat. Hun poging het resultaat van Schmidt te herhalen slaagde niet; ze kregen uitkomsten die niet van de verwachting afweken.

De criticus Hansel hield de zaak nu voor bekeken. Op Schmidts resultaat was in eerste instantie weinig aan te merken geweest. Maar nu het andere onderzoekers niet gelukt was de uitkomst te bevestigen, moesten er toch vraagtekens bij Schmidts proef worden gezet. Was de gebruikte apparatuur niet te storingsgevoelig geweest? En had Schmidt eigenlijk niet ook moeten nagaan of zijn proefpersonen hetzelfde

presteerden als een andere onderzoeker het experiment leidde? Hoe dan ook, volgens Hansel zag je hier weer eens gebeuren wat hij al vaker had meegemaakt: zodra parapsychologische experimenten zorgvuldig werden herhaald, bleef er van de spectaculaire resultaten niets over.

Verrassend genoeg interpreteerden Beloff en Bate hun resultaten heel anders. In plaats van Hansel gelijk te geven, beschouwden zij hun eigen experiment als discutabel. Schmidts resultaten waren in hun ogen nog steeds boven alle twijfel verheven. Er was niets mis met zijn experiment, en de uitkomst moest daarom worden geaccepteerd. Dat zij die uitkomst niet hadden kunnen bevestigen, was hun eigen fout, vonden ze. Aan de gebruikte apparatuur kon het niet liggen, want daarin waren geen wezenlijke verschillen aan te wijzen. Dus moest de persoonlijke invloed van Schmidt op zijn proefpersonen het verschil maken. Schmidts persoonlijkheid had de proefpersonen blijkbaar op de een of andere manier tot grotere prestaties aangespoord, en Beloff en Bate dachten dat zijzelf op dit punt tekort waren geschoten.

Hansel, de criticus, zag dit precies omgekeerd. Het kon best eens kloppen dat Schmidt invloed had gehad op zijn proefpersonen. Maar dan hadden Beloff en Bate toch niet iets verkeerd gedaan? De conclusie moest dan zijn dat Schmidt zijn experiment had beïnvloed op een manier die niet in de haak was. Terwijl Beloff en Bate dus uit hun experiment concludeerden dat zijzelf niet competent waren, trok Hansel er de conclusie uit dat Schmidt niet competent was.

Het eindoordeel van Beloff en Bate was dat er nog niets beslist was: er waren twee experimenten waarvan er een positief uitviel en een negatief. De toekomst moest leren hoe het nu werkelijk zat. Maar Hansel vond dat de parapsychologie weer een nederlaag had geleden. Want zolang het een-een staat, stelde hij, moet je kiezen voor de uitkomst die het best

spoort met wat binnen de natuurkunde de algemeen aanvaarde opvatting is. In dit geval betekende dat een negatief oordeel over Schmidts bewering dat er telepathie in het spel was. Want er zijn bijna geen natuurkundigen die geloven dat telepathie bestaat, en het experiment van Schmidt had onvoldoende steun gekregen om er anders over te gaan denken.

Wie heeft er gelijk?

Wat moet je hier van vinden? Het is duidelijk dat je eigen oordeel afhangt van hoe je tegenover telepathie en andere parapsychologische verschijnselen staat. Beloff en Bate stonden blijkbaar heel welwillend tegenover telepathie, want zij vonden hun eigen experiment niet beslissend. Hansel had die welwillendheid juist niet en was daarom veel strenger. Voor de meesten van ons zal gelden dat je eigen sympathieën bepalend zijn voor je oordeel. Maar wetenschappelijk gesproken komen we er dus niet uit.

Is dat iets om je zorgen over te maken? Nee, zal menigeen zeggen. De parapsychologie is nu eenmaal een glibberig terrein, daar spelen dit soort kwesties voortdurend. Dat je er met een wetenschappelijke benadering niet uitkomt, zegt meer over de parapsychologie dan over de wetenschap.

Maar dit is wel een erg makkelijk excuus. Juist bij moeilijk grijpbare fenomenen moet de wetenschappelijke aanpak ons toch verder helpen? Wetenschappelijke experimenten zijn er om uit te vinden hoe de natuur in elkaar zit. De onderzoeker heeft een vraag en het experiment geeft het antwoord. Daarmee zou de kwestie dan beslist moeten zijn.

Maar dat is in ons voorbeeld duidelijk niet het geval. Om te beginnen zijn er twee experimenten die elkaar tegenspreken, iets wat in de wetenschap overigens geen uitzondering is. Vervolgens zie je dat onderzoekers zich in hun oordeel laten

leiden door wat ze *denken* dat de goede uitkomst is. Anders gezegd, een experiment dat oplevert wat je verwacht, is blijkbaar een goed experiment, en als er iets anders uitkomt twijfel je aan het experiment. Hoe kan een experiment op deze manier nog voor je beslissen hoe de natuur in elkaar zit?

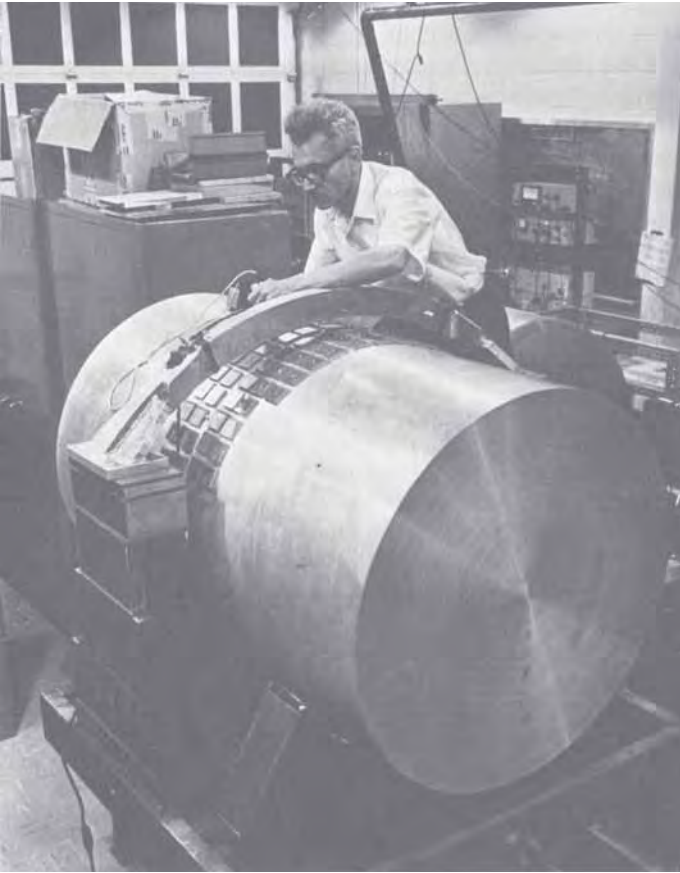
Meer experimenten doen dan maar? Vaak helpt dat, maar het kan ook een eindeloze discussie worden. Positieve en negatieve uitkomsten wisselen elkaar dan af, en voor- en tegenstanders zien alleen maar hun eigen gelijk bevestigd. Toch gebeurt het in de praktijk maar zelden dat het debat zich eindeloos blijft voortspelen. Ook de discussie over telepathie ging niet erg lang door. Al gauw geloofden de meeste natuurkundigen het wel. Of beter gezegd, ze geloofden het niet. De gevestigde mening dat telepathie niet bestaat bleef overeind, en men ging over tot de orde van de dag. Niet dat Schmidts proef definitief onderuit werd gehaald. Natuurkundigen besteedden er na verloop van tijd eenvoudig geen aandacht meer aan.

Veel mensen zullen nu nog steeds hun schouders ophalen. Goed, het experiment leverde geen sluitend oordeel op, maar het gaat hier om iets wat toch nauwelijks wetenschap mag heten. Parapsychologie – is dat geen pseudowetenschap? Zijn zulke experimenten niet op zichzelf al dubieus? Binnen de serieuze wetenschap worden discussies niet op deze manier beslist, daar hebben experimenten wel degelijk het laatste woord.

We zullen zien.

Zwaartekrachtgolven

Een elektrisch geladen deeltje dat in beweging is, veroorzaakt elektromagnetische golven. Op een vergelijkbare manier veroorzaakt bewegende materie zogenoemde zwaartekracht-



Afbeelding 6.1: De Amerikaan Joseph Weber werd in 1919 geboren in Paterson, New Jersey. Na een carrière bij de marine werd hij in 1948 hoogleraar elektrotechniek aan de universiteit van Maryland. In 1961 werd hij daar hoogleraar natuurkunde. Weber overleed in 2000 in Pittsburgh, Pennsylvania.

golven. Elektromagnetische golven zijn gemakkelijk waar te nemen. Licht en radiogolven zijn bijvoorbeeld elektromagnetische verschijnselen. Het waarnemen van zwaartekrachtgolven is veel moeilijker, want ze zijn erg zwak. Zo zwak dat natuurkundigen niet goed weten hoe je ze moet opvangen en meten.

Hier ligt een uitdaging voor onderzoekers. Er zijn gebeurtenissen in het heelal die met groot energetisch geweld gepaard gaan – denk bijvoorbeeld aan een exploderende ster. Natuurkundigen vermoeden dat daarbij zwaartekrachtgolven ontstaan die op aarde meetbaar zijn. Maar zelfs dan heb je te maken met zwakke effecten, en het probleem blijft hoe je zulke effecten kunt onderscheiden van allerlei verstoringen en ruis.

Joseph Weber van de universiteit van Maryland dacht een geschikte zwaartekrachtgolven-detector te hebben gebouwd. We spreken nu over de jaren zestig van de vorige eeuw. Kort gezegd bestond zijn opstelling uit een massieve metalen cilinder met daarop bevestigd zogenaamde piëzo-elektrische kristallen, die elektriciteit produceren als ze vervormd worden. Via een versterker kon deze opgewekte elektriciteit worden gemeten. Om verstoringen tegen te gaan werd het geheel trillingsvrij opgehangen in een ruimte die vacuüm was gezogen.

Het idee was dat zwaartekrachtgolven uit de ruimte de metalen cilinder in trilling zouden brengen. De piëzo-elektrische kristallen zouden dit effect opvangen en in elektriciteit omzetten. De versterker zou deze kleine hoeveelheden elektriciteit tot meetbare sterktes opvoeren, en ten slotte zou meetapparatuur het resultaat registreren.

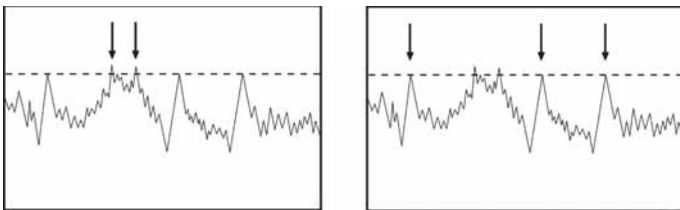
Het klinkt simpel, maar dat was het in de praktijk niet. Alleen al de bewegingen van de atomen in de metalen cilinder kunnen een reactie van de uiterst gevoelige kristallen veroorzaken. Je meet dus altijd wel iets, maar dat is ruis. Af en toe

zal er ook, door puur toeval, een wat grotere uitslag van de apparatuur te zien zijn, doordat de ruissignalen elkaar even versterken. Te verwachten valt dat een uitslag die door zwaarte-krachtgolven wordt veroorzaakt niet veel sterker zal zijn dan zo'n toevallige piek in de ruis. En hoe kun je dan nog weten dat je zwaarte-krachtgolven meet? Je moet dus op de een of andere manier 'overtuigende' pieken waarnemen die niet aan toevalseffecten toe te schrijven zijn. Maar wat 'overtuigend' betekent, is ook weer niet op voorhand duidelijk.

Bekijk bijvoorbeeld de twee onderstaande figuren. Links zijn twee pieken aangegeven die boven een bepaalde drempel liggen en die je daarom als echte pieken zou kunnen zien, veroorzaakt door zwaarte-krachtgolven. Probleem is hier uiteraard waar je die drempel moet leggen. Je kunt ook, zoals in het rechterfiguurtje, kijken naar plotselinge toenames van het signaal. Dat lijkt een betere methode, maar zeker weten kun je het niet.

Pieken

Weber koos voor de laatste methode. In 1969 beweerde hij dat zijn apparatuur zeven flinke pieken per dag liet zien die je niet aan toeval kon wijten. Er waren maar weinig natuurkun-



Afbeelding 6.2: Wat beschouwen we als 'overtuigende' pieken?

digen die hem geloofden. Niet dat ze zijn pieken niet indrukwekkend vonden: ze vonden ze juist veel te indrukwekkend. Webers collega's hadden verwacht dat de gemeten effecten veel kleiner zouden zijn. Zóveel energie als Webers pieken lieten zien, ging er volgens de geaccepteerde theorieën in de kosmos helemaal niet om.

Maar Weber wist zijn claim overtuigender te maken. Hij stelde nog een paar detectoren op, op afstanden van duizend mijl van de eerste, en daarmee kreeg hij dezelfde metingen. Je kon dus niet beweren dat het effect te wijten was aan lokale omstandigheden.

Verder ontdekte Weber dat er regelmaat zat in zijn pieken. Zij volgden een vierentwintiguurspatroon, en het patroon verschoof met de seizoenen. Dit was een sterke aanwijzing dat de bron van het signaal ergens ver in het heelal moest liggen. Want ten eerste: als het signaal uit de ruimte komt, is de detectie-apparatuur door de dagelijkse draaiing van de aarde één keer in de 24 uur in de beste positie om het signaal van de verre bron op te vangen. Na dat moment wordt het signaal zwakker, en na verloop van tijd weer sterker. Zo ontstaat een vierentwintiguurspatroon. Ten tweede: als de bron in de ruimte ligt, verwacht je dat de jaarlijkse draaiing van de aarde rond de zon een verschuiving van het vierentwintiguurspatroon door de dag heen veroorzaakt, een verschuiving die 'meeloopt' met de seizoenen.

Nu werden de natuurkundigen nieuwsgierig. In 1972 waren onderzoekers in verschillende laboratoria in de weer om Webers experiment te herhalen. Maar niemand slaagde erin Webers patroon van pieken te krijgen. Hoe dit te verklaren? Hierover ontstond een discussie waaraan een grote groep onderzoekers deelnam. Weber zelf gaf de ene lezing na de andere om zijn werkwijze en resultaten toe te lichten. Natuurkundigen praatten erover met elkaar, op congressen, bij bezoeken

aan elkaars laboratoria, en in het informele circuit. Niemand wist precies wat je ervan moest denken. Waren Webers resultaten ondeugdelijk, of was hij de enige met genoeg ervaring om de zwaartekrachtgolven zichtbaar te kunnen maken?

Er was een hele waslijst van redenen te bedenken waarom het anderen niet lukte hetzelfde resultaat als Weber te krijgen. Een paar voorbeelden. Om te beginnen waren er altijd kleine verschillen in de experimentele opstelling. De cilinder die Weber gebruikte, was gemaakt van een aluminiumlegering. Ook wanneer een ander laboratorium dezelfde legering gebruikte, bleek het in de praktijk onmogelijk een volkomen identieke cilinder te maken. Het meetresultaat kon daardoor beïnvloed worden, bijvoorbeeld doordat de ene cilinder gevoeliger was voor zwaartekrachtgolven van een bepaalde golf-lengte dan een andere.

Mogelijke foutenbronnen waren ook de piëzo-elektrische kristallen en hun bevestiging op de cilinder, en verder de gebruikte versterker en de registratieapparatuur. Volgens sommigen was het zelfs denkbaar dat Webers elektronica zelf de signalen produceerde.

Voor enkele natuurkundigen was het vierentwintiguurspatroon dat Weber had gevonden een belangrijke reden om zijn metingen serieus te nemen. Anderen wantrouwden Webers analyse van het patroon, ondanks, of juist omdat die analyse door een computer was gedaan. Hetzelfde gold voor de identieke resultaten die Weber had gekregen met meerdere detectoren op grote afstand van elkaar. Dat betekende toch wel iets, meende de een. Maar een ander dacht dat het net zo goed kon wijzen op dezelfde fout in de elektronica van alle detectoren. Weer anderen ontdekten een paar fouten in Webers analyse van zijn gegevens en beschouwden die fouten als fataal voor zijn uitspraken. Maar anderen tilden daar niet zo zwaar aan.

Niet alleen Webers werk stond ter discussie, maar ook de experimenten van alle onderzoekers die nu bij de kwestie betrokken waren. Wie een poging deed Webers gelijk of ongelijk aan te tonen, werd door collega's bijna net zo heftig bekritiseerd als Weber zelf. En daarbij ging het bepaald niet alleen om technische details. De onderzoekers zelf werden ook in de kritiek betrokken. Was onderzoeker X wel ervaren genoeg om een zo subtiel experiment uit te kunnen voeren? Was de wetenschappelijke reputatie van Y niet discutabel? Werkte Z wel in een laboratorium dat meetelde? Zelfs de intelligentie en de nationaliteit van de experimentatoren werden door sommige natuurkundigen in de strijd geworpen.

Bij zoveel onduidelijkheid en onenigheid werd men voorzichtig met het publiceren van resultaten. Meer en meer natuurkundigen kwamen langzaam tot de slotsom dat Webers resultaten op zijn zachtst gezegd discutabel waren. Maar zo'n bewering in een tijdschrift onderbouwen met een experiment dat een negatieve uitkomst liet zien, dat was een andere zaak. Dan liep je het risico dat er zoveel kritiek kwam, dat je zelf als incompetent te boek kwam te staan. Dus als het op publiceren aankwam, hielden natuurkundigen hun kruit maar liever droog.

Vicieuze cirkel

Hoewel Weber weinig steun kreeg, bleef de zaak zo toch onbeslist. Welke experimentator moest je geloven? Wie kon je als competent beschouwen? Was een experiment geloofwaardig als het zwaartekrachtgolven aantoonde of als het die juist niet aantoonde?

Er ontstond een vicieuze cirkel. Om uit te maken of zwaartekrachtgolven bestaan, heb je een betrouwbaar experiment nodig. Maar om te weten wat een betrouwbaar experi-

ment is, moet je eigenlijk al weten wat eruit moet komen. Hetzelfde kun je zeggen over de competentie van een onderzoeker: je weet pas zeker dat hij het goed of niet goed heeft gedaan als je weet wat er gemeten moet worden. Dus word je in je persoonlijke oordeel eigenlijk vooral geleid door wat je van tevoren al dacht dat de uitkomst moet zijn.

In Webers geval betekende dit dat de meeste natuurkundigen sceptisch bleven, want dat waren ze vanaf het begin al geweest. Het debat doofde uit, en na 1975 was er bijna niemand meer over die bereid was het voor Weber op te nemen. Maar niet omdat niemand meer in zwaartekrachtgolven geloofde. Het onderzoek daarnaar werd gewoon voortgezet, maar dan wel met nog gevoeliger apparatuur, die veel zwakkere signalen moest kunnen opvangen.

De beslissing

Blijft de vraag wat de omslag veroorzaakte. Hoe kwam het dat er tot 1975 volop discussie was en dat men het daarna voor gezien hield? Een experiment dat als beslissend werd geaccepteerd, valt niet aan te wijzen. Weber bleef ook volhouden dat zijn resultaten in orde waren. Het lijkt erop dat het optreden van één vooraanstaand fysicus, Richard Garwin, de doorslag gaf.

Garwin publiceerde op een gegeven moment een experimenteel resultaat met een negatieve uitkomst. Dat was eerder vertoond, en zijn experiment was op zichzelf niet bijzonder. Belangrijker was de manier waarop hij zijn conclusies presenteerde. Andere natuurkundigen waren heel voorzichtig geweest in hun conclusies om hun reputatie als experimentator niet op het spel te zetten. Garwin twijfelde niet. Hij besprak nog eens alle mogelijke foutenbronnen, gaf een heldere analyse en kwam ten slotte tot een hard oordeel. Webers experi-

ment deugde gewoon niet, zijn resultaten waren niets waard. Met zijn doortastende aanpak en confronterende stijl doorbrak hij de patstelling. Andere natuurkundigen rechtten nu hun rug en verklaarden dat Garwin de kwestie beslist had.

Niet experimenten gaven dus uiteindelijk de doorslag, maar de autoriteit van een gerespecteerd onderzoeker die ronduit zei wat hij ervan vond.

De meeste experimenten die wetenschappers doen, veroorzaken niet zo'n slepende discussie als Webers proeven met zwaartekrachtgolven. Doorgaans weet men wel wat er ongeveer uit een experiment moet komen, en de beoordeling van het resultaat levert dan geen al te grote problemen op. Maar juist als het spannend wordt, als wetenschappers een nieuw of controversieel terrein betreden, neemt de onzekerheid toe. Je weet dan niet wat je van een experiment moet verwachten, en dat maakt het veel lastiger de uitkomst op waarde te schatten.

Dus juist als de behoefte aan een experiment dat zekerheid geeft toeneemt, groeit de onzekerheid over de betekenis van het experiment. Aan wetenschappelijke resultaten alleen heb je dan niet genoeg om tot een beslissing te komen. Eerdere ervaringen, eigen overtuigingen en het gezag van anderen gaan dan een rol spelen. En dat zijn geen harde criteria maar persoonlijke en subjectieve.

Wie denkt dat het persoonlijke en subjectieve alleen een rol speelt in omstreden disciplines als de parapsychologie vergist zich. Zwaartekrachtgolven zijn een erkend natuurkundig fenomeen, en als ze ooit overtuigend worden gemeten, zal elke natuurkundige daar alleen maar tevreden over zijn. Maar erkende wetenschap of niet, er is geen vastliggende procedure om de uitkomst van een experiment te beoordelen. Dat blijft mensenwerk.

7

Donders' wetenschappelijke bril

Wetenschap als bondgenoot

Wie in Utrecht woont, kent de naam F.C. Donders. Er staat een groot standbeeld van hem tegenover de Janskerk, je hebt het F.C. Donders Instituut voor Oogheelkunde, en er is een F.C. Dondersstraat. Lezers van de boeken over Dik Trom kennen Donders ook. In *Dik Trom en zijn dorpsgenoten* helpt hij een zielig buurmeisje van Dik van haar oogziekte af – gratis natuurlijk.

In zijn eigen tijd, de negentiende eeuw, was Donders nog veel beroemder. Toen was hij een bekende Nederlander en een internationaal bejubelde geleerde. Collega's in binnen- en buitenland noemden hem een held van de wetenschap, een hervormer van de oogheelkunde en een weldoener van de mensheid. Volgens één tijdgenoot was Donders zelfs het grootste wetenschappelijke genie dat Nederland in de negentiende eeuw had gekend.

In die tijd hadden artsen hun patiënten nog maar weinig te bieden. Terugkijkend kun je zeggen dat heel wat zieken toen eerder ondanks dan dankzij een medische behandeling genazen. Dat Donders zijn patiënten blijkbaar wel kon helpen, is dus op zichzelf al bijzonder. Wel is het zo dat Donders' loopbaan samenviel met de opkomst van een geneeskunde op strikt wetenschappelijke grondslag. Donders was een van de



Afbeelding 7.1: Franciscus Cornelis Donders werd in 1818 geboren in Tilburg. Hij studeerde medicijnen aan de militair-geneeskundige school en aan de universiteit in Utrecht. Hij werkte korte tijd als officier van gezondheid en als docent aan de militair-geneeskundige school. In 1848 werd hij bijzonder, en in 1852 gewoon hoogleraar in Utrecht. Zijn aandachtsveld was vooral de oogheelkunde. In 1862 kreeg hij de leerstoel fysiologie. Van 1858 tot 1883 was hij directeur van het Utrechtse Ooglijdersgasthuis. Donders overleed in 1889 in Utrecht.

vroege Nederlandse aanhangers van deze wetenschappelijke geneeskunde. En de wetenschappelijke benadering, weten we nu, had de toekomst.

Toch verklaart dit Donders' succes nog niet. Voor ons is het vanzelfsprekend dat artsen volgens wetenschappelijke principes te werk gaan. Maar historisch gezien kwamen de idealen van de wetenschappelijke geneeskunde eerder te vroeg. Want toen men besloot ziektes wetenschappelijk te gaan bestrijden, waren er nog maar weinig aanwijzingen dat de patiënten daar ook echt bij gebaat zouden zijn. Er was ook in de negentiende eeuw al veel wetenschappelijke kennis voorhanden, maar voorbeelden van hoe mensen met die kennis geholpen konden worden, waren er niet zoveel. Kennis is één ding, het vinden van effectieve behandelwijzen en geneesmiddelen is een ander. Zelfs als de oorzaak van een ziekte bekend is, heb je niet automatisch ook een geneesmiddel.

Het duurde tot het eind van de negentiende eeuw voordat de wetenschappelijke geneeskunde hier en daar succes begon te boeken. Tot die tijd kon men alleen maar hopen dat de wetenschappelijke aanpak op den duur vruchten zou afwerpen. Maar Donders was als vertegenwoordiger van de wetenschappelijke geneeskunde een bijzonder geval. Hij was een van de weinige artsen die al vroeg – rond 1860 – wel succes hadden. Met zijn werk als oogarts kon hij zijn patiënten daadwerkelijk helpen. Dit vraagt dus om een verklaring. Hoe wist Donders zijn wetenschappelijke kennis in daden om te zetten in een tijd dat nog bijna niemand daarin slaagde?

Wetenschap tegenover kwakzalverij

Donders was opgeleid als legerarts maar besloot zich in 1851 in de oogheelkunde te specialiseren. Eén reden hiervoor was dat de Duitse natuurkundige Hermann von Helmholtz in

dat jaar de oftalmoscoop of oogspiegel had uitgevonden. Dit instrument maakte het voor het eerst mogelijk om het oog van binnen te bekijken. Dit betekende een belangrijke stap vooruit bij de diagnose van oogziekten. Tot dan toe had men ziektes van het oog alleen maar kunnen afleiden uit wat er aan de buitenkant van te zien was. Nu kon de arts binnenin het oog kijken en hoefde hij minder te gissen wat er aan mankeerde.

De oogheelkunde was in Nederland in die tijd geen zelfstandig specialisme. Een oogkliniek bestond nog niet, en er werden ook geen oogartsen opgeleid. Donders besloot in het gat te springen. Over gebrek aan medewerking had hij niet te klagen. Er was grote behoefte aan een oogkliniek, en de gemeente Utrecht gaf hem de middelen om een oud cholera-ziekenhuis in te richten als hospitaal voor ooglijders. Deze oogkliniek bleek al snel te klein. Er werd een actie op touw gezet, en dankzij giften uit het hele land kon Donders in 1858 het nieuwe Ooglijdersgasthuis openen.

In korte tijd kreeg dit hospitaal een grote naam. De patiënten kwamen uit het hele land en zelfs uit het buitenland. Studenten en artsen uit de hele wereld kwamen naar Utrecht om hun kennis van het vak te vergroten en praktische ervaring op te doen. Donders en zijn medewerkers bouwden een internationale wetenschappelijke reputatie op. In Nederland groeide Donders uit tot een nationale figuur. Hij was, zo schreef een tijdgenoot, 'een genie in den dienst der wetenschap'.

Ook op de patiënten van de oogkliniek maakte Donders een diepe indruk. Er begonnen al snel verhalen de ronde te doen die hem bijna bovennatuurlijke krachten toeschreven. Menig patiënt beschouwde het moment dat hij door Donders was onderzocht als een hoogtepunt in zijn bestaan. Wat hij ook deed, voor de patiënten was Donders een wonder-

dokter, een weldoener van de lijdende mensheid. Waar was dit succes aan te danken?

In het Ooglijdersgasthuis stond de chirurgie centraal. De meeste patiënten hadden kwalen die alleen door operatief ingrijpen te behandelen waren. Denk hierbij aan verwondingen door scherpe voorwerpen of chemische stoffen, of aan een oogandoening als staar. Dus zou je denken dat Donders een bijzonder knap chirurg moet zijn geweest en dat hij daaraan zijn reputatie dankte. Maar dit was niet het geval. Donders had zelfs helemaal geen talent voor chirurgie. Operaties liet hij al snel aan een collega over.

Donders' werk lag op een heel ander terrein dan de chirurgie. Hij hield zich bezig met afwijkingen aan de ogen waardoor je niet scherp kunt zien. Verziendheid bijvoorbeeld, waarbij je voorwerpen op korte afstand van het oog niet scherp ziet, of bijziendheid, waardoor je in de verte niet scherp kunt stellen. Oogafwijkingen dus die je met een bril (en tegenwoordig met lenzen of een laserbehandeling) kunt corrigeren. Donders' patiënten hoefden helemaal niet in de kliniek opgenomen te worden. Ze hadden een bril nodig, geen chirurgische behandeling.

Wat Donders zijn roem bezorgde, is dat hij van het voorschrijven van brillen een wetenschap maakte. In zijn tijd gingen de meeste mensen die een bril nodig hadden naar een brillenverkoper op de markt of naar een 'ogendokter' zonder medische opleiding. Door simpel uitproberen moesten ze dan uit een verzameling glazen van verschillende sterkte de juiste glazen voor hun bril vissen. Door Donders kwam er een eind aan de praktijken van deze 'kwakzalvers'. Hij zorgde ervoor dat afwijkingen in de gezichtsscherpte wetenschappelijk konden worden vastgesteld en dat patiënten op een verantwoorde manier aan de juiste glazen werden geholpen. Als aanhanger van de wetenschappelijke geneeskunde paste

Donders zijn kennis van het oog toe op de praktijk van het brillen voorschrijven. Zo gaf hij die praktijk een wetenschappelijk fundament.

Althans, dit is de verklaring voor Donders' succes die je in de literatuur steeds weer tegenkomt. Er zijn vraagtekens bij te zetten. De relatie tussen wetenschap en praktijk is een ingewikkelde, en ook in dit geval worden de zaken te simpel voorgesteld. Bekijken we eerst maar eens wat Donders' wetenschappelijke werk eigenlijk inhield.

Onscherp zien verklaard

Het Ooglijdersgasthuis was voor dat wetenschappelijk werk onmisbaar, want het leverde de patiënten voor Donders' oogonderzoek. De grote kracht van zijn werk was dat hij zijn conclusies kon baseren op gegevens van een ongekend groot aantal patiënten. Donders onderzocht bijvoorbeeld meer dan 2500 patiënten met bijziendheid. Vóór hem was er nooit systematische aandacht aan oogafwijkingen als bijziendheid en verziendheid besteed. De afwijkingen waren bekend, en men wist hoe je ze met brillen kon corrigeren. Maar wat de oorzaken ervan waren, was niet duidelijk. De meningen daarover waren verdeeld.

Donders wist de zaak grotendeels tot klaarheid te brengen. Van alle gangbare afwijkingen wist hij precies vast te stellen welke fouten in de bouw en in de werking van het oog er de oorzaken van zijn. Met grafieken en tabellen kon hij verder laten zien hoe bij- en verziendheid samenhangen met de leeftijd van de patiënt. Donders was de eerste wetenschapper die een onderscheid maakte tussen 'gewone' verziendheid en de verziendheid die ontstaat bij het ouder worden. Van een andere afwijking, astigmatisme (waardoor de patiënt vertekende of wazige beelden ziet), toonde Donders aan dat die veel

vaker voorkomt dan men destijds aannam. Vooral hier bleek hoe nuttig het was om naar grote aantallen patiënten te kijken.

In zijn tijd betekende Donders' systematische en groot opgezette studie een doorbraak. Voor het eerst was er orde gebracht in een verwarrende materie. Eindelijk was er een wetenschappelijke grondslag voor de diagnose en de correctie van afwijkingen in de gezichtsscherpte. Donders' publicaties kregen dan ook overal een positief onthaal, en zijn wetenschappelijke naam werd er definitief door gevestigd. Aan deze studies dankte hij ook zijn eretitel van hervormer van de oogheelkunde.

Je zou denken dat we nu de verklaring hebben voor Donders' succes. Zijn wetenschappelijk onderzoek moet belangrijk zijn geweest voor het vaststellen en goed corrigeren van oogafwijkingen als verziendheid, bijziendheid en astigmatisme. Dit is in elk geval hoe Donders zelf het zag, en ook in de literatuur wordt zijn succes zo verklaard. Wat eerst het werk van kwakzalvers was geweest, werd nu een wetenschap. De praktijk van willekeurig uitproberen van verschillende glazen was definitief voorbij. Donders maakte van het aanmeten van brillen een wetenschap.

Maar deze voorstelling van zaken klopt niet. Donders gaf wetenschappelijke verklaringen voor oogafwijkingen, dat is juist. Maar dit betekende niet dat daardoor de praktijk van het brillen voorschrijven fundamenteel veranderde. Net als zijn voorgangers was ook Donders voor het vaststellen en corrigeren van oogafwijkingen aangewezen op uitproberen. En voor de hedendaagse opticien geldt dat nog steeds. Om vast te stellen of een patiënt bijziend, verziend of astigmatisch is, moet hij glazen van verschillende sterkte uitproberen. Wanneer hij met glazen van een bepaalde sterkte weer scherp ziet, weet je én wat de afwijking van zijn ogen is én welke brillen-

glazen hij nodig heeft. Donders' wetenschappelijk werk bracht in deze gang van zaken geen verandering aan. Hij wees de oorzaken van de afwijkingen aan; de diagnose en de behandeling ervan bleven hetzelfde.

Medicalisering

Donders' oogonderzoek was dus vooral van wetenschappelijke betekenis. Maar hoe kwam hij dan aan zijn reputatie van 'weldoener van de mensheid'? Een groot chirurg was hij niet, en dat hij wel een groot wetenschapper was, daar schoten zijn patiënten toch niets mee op?

Donders had om te beginnen iets dat bij artsen een factor van belang kan zijn: uitstraling. Collega's in binnen- en buitenland spraken met ontzag over zijn 'schoon voorkomen', zijn 'nobele stem' en 'koninklijke houding'. Dat Donders een genie was, dat kon je gewoon zien. Ook zijn patiënten droegen hem op handen. Zij waardeerden vooral ook de altijd vriendelijke en geduldige manier waarop hij met ze omging.

Een anekdote ter illustratie van de diepe indruk die Donders wist achter te laten. De schrijver van een biografie van Donders sprak ooit met een van diens oud-patiënten, een bejaarde mevrouw. Zij gaf zo hoog op van Donders' kwaliteiten dat het wel leek alsof hij medische wonderen kon verrichten. De biograaf wilde toen wel eens weten wat Donders voor haar gedaan had. Wat bleek? De behandeling die ze had ondergaan, was op een complete mislukking uitgelopen.

Maar zijn uitstraling en prettige omgangsvormen alleen hadden Donders natuurlijk nooit de status van wonderdokter bezorgd. Hoewel zijn eigen onderzoek geen directe invloed had op de praktijk, kon Donders veel patiënten toch wel degelijk beter helpen dan zijn voorgangers. Dat zat hem vooral in zijn systematisch aanpak en in het feit dat hij over

wetenschappelijke hulpmiddelen beschikte waarvan de amateur-ogendokters en brillenverkopers van zijn tijd alleen maar konden dromen. Niet bepaalde specialistische kennis van het oog maakte Donders tot een betere oogarts, maar het gegeven dat hij de wetenschap als het ware als 'bondgenoot' had.

Een mooi voorbeeld hiervan is Donders' onderzoek van astigmatisme. Bij astigmatisme heeft het oog geen duidelijk brandpunt. De patiënt ziet daardoor wazige of vertekende beelden. De afwijking was al heel lang bekend, en men wist dat patiënten geholpen konden worden met cilindrische glazen. Maar er werd weinig aandacht aan geschonken want men dacht dat de aandoening maar heel zelden voorkwam. Zodoende hadden de meeste brillenverkopers geen cilindrische glazen op voorraad.

Donders toonde als eerste aan dat de afwijking veel vaker voorkwam dan gedacht. Elke patiënt met een oogafwijking moest dus wel degelijk ook op astigmatisme worden onderzocht. En dus moest elke oogarts en elke brillenmaker cilindrische glazen van verschillende sterkte op voorraad hebben. In zijn eigen praktijk kon Donders veel patiënten helpen die de hoop dat ze ooit nog goed konden zien al bijna hadden opgegeven. Eerdere behandelaars hadden eenvoudig over het hoofd gezien dat astigmatisme de oorzaak van hun problemen was.

Ook in andere opzichten was Donders tot meer in staat dan zijn niet-academische collega's. Het Ooglijdersgasthuis beschikte over een uitstekende instrumentencollectie en over alle relevante literatuur op het gebied. Deze hulpmiddelen kwamen Donders vooral bij het onderzoek van meer gecompliceerde gevallen goed van pas. Eenvoudig lijkende problemen met scherp zien kunnen te maken hebben met ernstige aandoeningen van het inwendige oog. Omgekeerd

kunnen lichamelijke klachten van heel andere aard iets te maken hebben met de gezichtsscherpte. Donders was van al dit soort zaken beter op de hoogte dan de brillenverkoper op de markt. Hij had de middelen voor grondiger onderzoek en kon zo vaak tot een betere diagnose komen.

Een voorbeeld uit Donders' praktijk is het geval van een vrouw die al jaren zonder succes was behandeld voor ernstige hoofdpijn. Donders kwam er achter dat haar hoofdpijn veroorzaakt werd door haar slechte ogen. Door haar de juiste bril te geven, hielp hij haar op slag van haar probleem af.

Donders beperkte zich niet tot individuele patiënten. Hij bood zijn diensten als oogspecialist ook aan de spoorwegen en de marine aan. De aanleiding was een ernstig treinongeluk in 1875, in Zweden. Het vermoeden bestond dat het ongeluk was veroorzaakt door kleurenblindheid van een spoorwegbeambte. Donders bestudeerde de zaak en concludeerde dat spoorwegpersoneel op kleurenzien getest moest worden. Hij ontwikkelde een speciale test en klopte hiermee bij de regering aan. Het resultaat was dat het baanpersoneel van de spoorwegen op gezette tijden naar Utrecht werd gestuurd voor een ogentest. Dat Donders de zaak grondig aanpakte blijkt uit het gegeven dat de test ook een onderdeel bevatte waarmee simulanten konden worden ontmaskerd. Later vroeg de regering Donders om een vergelijkbare test voor marinepersoneel.

Donders streefde ernaar dat iedereen met een oogandoening, of die nu ernstig of minder ernstig was, door een arts of oogarts zou worden onderzocht. Om dit te bereiken zorgde hij er bijvoorbeeld voor dat de oogheilkunde in Nederland een zelfstandig universitair specialisme werd.

De specialisering zou uiteindelijk zelfs verder gaan dan Donders had gewild. Zijn idee was dat alle artsen tijdens hun opleiding de beginselen van de oogheilkunde zouden moe-

ten leren, zodat ze patiënten met eenvoudige oogafwijkingen goed konden helpen. Voor de ernstiger gevallen zou een klein aantal specialisten moeten worden opgeleid. Maar in Nederland en in veel andere landen verliep de ontwikkeling anders. Gewone geneeskundestudenten kregen maar weinig onderwijs in de oogheelkunde. Het vak werd het exclusieve domein van specialisten. Ook voor een bril moest je dus naar de specialist. Pas zo'n dertig jaar geleden is deze ontwikkeling teruggedraaid en mag ook de opticien, en zelfs een gewoon warenhuis, de patiënt aan een eenvoudige bril helpen. Daarmee heeft 'de markt', die vóór Donders de brillenhandel beheerste, weer een deel van het terrein terugveroverd.

Zo zien we dus dat Donders met zijn onderzoek van oogafwijkingen wel degelijk invloed wist uit te oefenen op de praktijk. Hij maakte van het voorschrijven van lenzen en brillen een bezigheid waarvoor je een academische opleiding moest hebben afgerond. Anders gezegd: hij concurreerde de niet-academische ogendokters en brillenmakers uit de markt. Of nog anders: Donders 'medicaliseerde' het terrein.

Nu is ook beter te begrijpen hoe Donders kon beweren dat zijn wetenschappelijke aanpak van de geneeskunde vruchten afwierp. Strikt genomen kon hij geen nieuwe behandelwijzen afleiden uit zijn wetenschappelijke kennis. De manier waarop hij zijn patiënten aan een bril hielp, verschilde niet fundamenteel van de werkwijze die al eeuwen gangbaar was. Desalniettemin wist Donders het terrein ingrijpend te veranderen. Als onderzoeker paste hij een systematische, grootschalige aanpak toe en daardoor kwam hij tot nieuwe inzichten – bijvoorbeeld dat astigmatisme veel minder zeldzaam was dan men dacht. Bovendien kon hij als wetenschapper beschikken over instrumenten en andere hulpmiddelen voor een grondig onderzoek. Dat kon tot een betere diagnose en een betere therapie leiden. Donders droeg ertoe bij dat de behandeling

van oogaandoeningen een medisch specialisme werd.

Vandaag de dag is de geneeskunde een discipline die op wetenschappelijke grondslagen rust. Dat is vooral een ontwikkeling van de laatste honderd jaar. Er kwam in deze periode enorm veel nieuwe wetenschappelijke kennis ter beschikking. Een deel van die kennis kon worden vertaald in nieuwe behandelmethoden en geneesmiddelen. Het voorbeeld van Donders' oogheelkunde laat een ander facet zien van de groeiende rol van de wetenschap. Dat genezen meer en meer een zaak van de wetenschap is geworden, komt ook doordat medici allerlei niet-wetenschappelijke genezers uit de markt drukten.

8

Morgans fruitvliegen *'The making of' het ideale proefdier*

Drosophila melanogaster, de fruitvlieg, was het paradepaardje van de klassieke genetica. De biologen die kort na 1900 uitzochten op welke manier erfelijke eigenschappen overerven, dankten het succes van hun werk aan de genetische hoogstandjes van een paar miljoen fruitvliegjes. Het was de Amerikaanse bioloog Thomas H. Morgan die de voordelen van *Drosophila* als proefdier ontdekte. Zijn experimenten leverden een overtuigende bevestiging op van de erfelijkheidswetten van Mendel. Morgan en zijn team maakten vooral furore met *genetic mapping*, een techniek waarmee ze konden vaststellen hoe de genen van *Drosophila* over de chromosomen zijn verdeeld.

Dat Morgan het fruitvliegje koos voor zijn experimenten, was een gouden greep. Ga maar na. Je kunt er moeiteloos aankomen want waar fruit is, daar zijn *Drosophila*'s. ('s Zomers is het probleem eerder hoe je van ze afkomt.) Ze kosten niets en vragen weinig zorg. In een melkfles met wat overrijp fruit gedijen ze prima. Je kunt ze ook makkelijk kweken, het hele jaar door. Elk vrouwtje kan gedurende haar korte leven enkele honderden eitjes leggen, en als ze haar best doet wel duizend. De ontwikkeling van ei tot volwassen vlieg duurt maar zo'n twee weken.



Afbeelding 8.1: Thomas Hunt Morgan werd in 1866 in Lexington (Kentucky) geboren als zoon van een diplomaat. In 1890 promoveerde hij in de biologie aan de Johns Hopkins University. Vanaf 1904 tot 1928 was hij hoogleraar experimentele zoölogie aan de universiteit van Columbia. In 1928 jaar werd hij directeur van de biologische afdeling van het California Institute of Technology (Cal Tech) in Pasadena. Morgan kreeg in 1933 de Nobelprijs. Hij overleed in 1945 in Pasadena.

Vergelijk dat eens met planten die maar één keer per jaar zaad zetten en die flink wat ruimte en verzorging vragen. Zeker als je grote aantallen nodig hebt, leggen andere proefdieren zoals muizen het in een kosten-batenanalyse onherroepelijk tegen de vliegjes af. En van welke proefdieren kom je zo gemakkelijk weer af als ze overbodig zijn geworden? Honden of konijnen dump je niet met honderden tegelijk in een ethergraf.

Drosophila was ideaal voor het onderzoek dat Morgan deed. Hij wilde duizenden kruisingsexperimenten uitvoeren. Praktisch gesproken is dat alleen maar te doen met een dier dat makkelijk te krijgen is, goedkoop is in onderhoud en zich razendsnel voortplant. Omdat de genetica in Morgans tijd nog in de kinderschoenen stond, was het ook prettig dat fruitvliegjes genetisch gesproken niet al te ingewikkeld zijn. De mens heeft drieëntwintig paar chromosomen, *Drosophila* heeft maar vier paar.

Morgans keuze voor *Drosophila* als proefdier was overigens meer geluk dan wijsheid. In eerste instantie was hij met fruitvliegjes gaan werken om er heel andere proeven mee te doen. In zijn tijd leefde het idee dat het mogelijk moest zijn evolutieverschijnselen in het laboratorium op te wekken. Onder bepaalde bijzondere omstandigheden zou het erfelijk materiaal van dieren veranderen, waardoor ze in een fase van snelle evolutie zouden komen. De kunst was uit te vinden wat die bijzondere omstandigheden waren. Hier wilde Morgan onderzoek naar doen toen hij fruitvliegjes begon te kweken. Dit onderzoek leverde niets op, maar Morgan kwam zo wel op het spoor terecht dat hem naar zijn hoofdwerk bracht.

Op een gegeven moment zag Morgan bij toeval een mutant in zijn kweken: een fruitvliegje met witte ogen, terwijl de normale oogkleur rood is. Toen hij er op ging letten, zag hij dat er nog meer mutanten voorkwamen, en niet alleen oog-

kleur-mutanten. Ook de kleur van het lichaam kon variëren, en er kwamen allerlei afwijkingen aan de vleugels voor. Dit was het materiaal waarmee Morgan zijn bekende kruisingsexperimenten ging doen. En bij deze experimenten vertoonde *Drosophila* haar kunsten als ideaal proefdier.

Tenminste, zo staat het verhaal van Morgan en zijn fruitvliegjes in de handboeken over erfelijkheid. Het klopt ook wel, maar aan een interessant aspect van de geschiedenis wordt zo helemaal voorbijgegaan. Dat aspect is *the making of* het ideale proefdier.

Een fruitvliegjes-kweekreactor

Natuurkundigen of scheikundigen die een experiment doen, gebruiken allerlei instrumenten. Zulke instrumenten moeten gemaakt worden, en daar is kennis en vakmanschap voor nodig. Dat het werken met natuurkundige instrumenten een hele kunst kan zijn, laat het hoofdstuk over Joule in dit boek zien. Biologen gebruiken naast instrumenten ook proefdieren, en dat zijn eigenlijk levende instrumenten. Daar hoeft je niet zoveel aan te doen, zou je zeggen. Levende instrumenten vind je immers kant en klaar in de natuur.

Om een natuurkundig instrument te laten meten wat je wilt meten, moet je het verschijnsel waar het om gaat al kennen. Elektriciteit is niet ontdekt door iemand met een voltmeter; je kunt pas een voltmeter maken als je weet wat elektriciteit is. Bij proefdieren lijkt het eenvoudiger: zij laten je spontaan ontdekken hoe zij in elkaar zitten. Wil je weten hoe hun eigenschappen overerven? Laat ze hun natuurlijke gang maar gaan en aan de nakomelingen kun je zien hoe het werkt. Voor Morgan was het dus eenvoudig een kwestie van goed observeren. Zo gezien kun je je afvragen of het eigenlijk wel juist is een proefdier een instrument te noemen. Het is toch

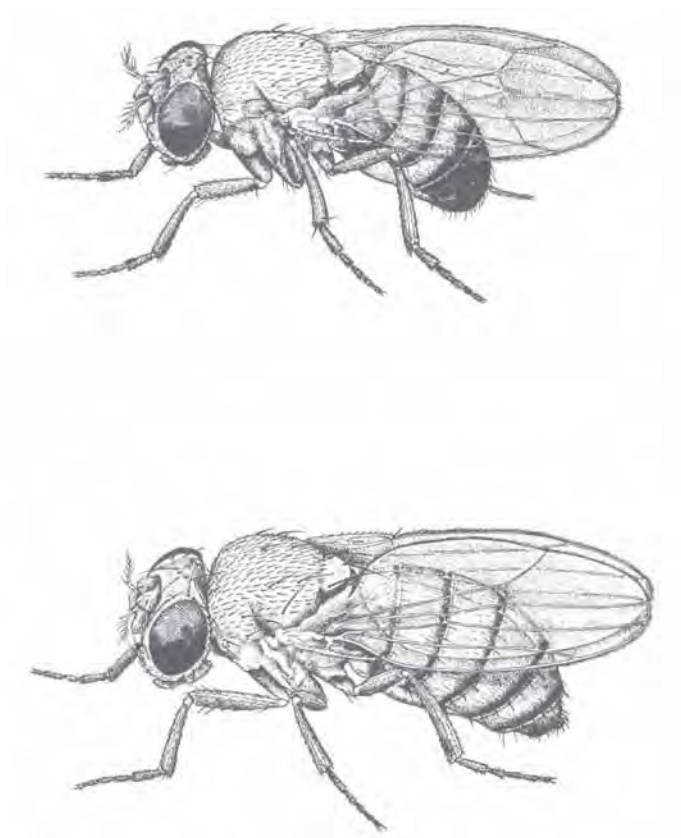
de natuur zelf die je observeert? Tijd om Morgans fruitvliegjes van dichterbij te bekijken.

In Morgans proeven draaide alles om het kruisen van mutanten. Aan de nakomelingen kon hij dan zien hoe gemuteerde eigenschappen overerfden. Het was voor Morgan zaak zoveel mogelijk verschillende mutanten op te sporen. Nu vind je die niet zomaar. Als je een populatie van *Drosophila melanogaster* in het wild bekijkt, zie je maar heel af en toe een mutant. Dat komt niet alleen doordat ze zeldzaam zijn. Mutanten kunnen in het wild meestal niet overleven. Met omgekulde of heel kleine vleugels kun je bijvoorbeeld nauwelijks vliegen, en dus ook geen voedsel zoeken. Als je veel mutanten wilt, moet je *Drosophila*'s gaan kweken, want in het luilekkerland van het lab hebben mutanten grotere overlevingskansen.

Aanvankelijk zocht Morgan helemaal niet naar mutanten en zag hij er ook geen. Hij begon op kleine schaal fruitvliegjes te kweken in de hoop dat hij ze in een evolutiefase kon brengen. Zoals al gezegd lukte dat niet, maar vond hij puur toevallig wel een mutant met witte ogen. Pas toen besloot hij uit te zoeken of er niet meer mutaties te vinden waren. En dit betekende dat hij grote aantallen dieren moest gaan kweken, want pas dan kom je de zeldzame mutanten tegen.

Toen die massale kweek eenmaal op gang was gekomen, ging het ook snel. Morgan was er nu op gespist en in korte tijd spoorde hij tientallen mutanten op. Bij het kruisen van al deze vormen kwamen weer nieuwe mutanten tevoorschijn, waarmee ook weer gekruist werd, enzovoort. Met het toenemen van het aantal kruisingen leek het wel alsof Morgan een kweekreactor van *Drosophila*'s had geactiveerd: de mutanten kropen in steeds sneller tempo uit de reactor.

Dat was natuurlijk prachtig, maar praktisch gesproken werd de onderneming wel steeds ingewikkelder. *Drosophila*'s



Afbeelding 8.2: Drosophila. Boven het mannetje, beneden het vrouwtje.

kweken is niet zo moeilijk, maar tientallen lijnen in stand houden en daarmee tientallen kruisingsproeven tegelijk uitvoeren, vergt een doordachte logistiek. Morgan moest zijn lab ombouwen tot een goed uitgeruste *Drosophila*-kwekerij.

Niet alle lijnen van mutanten bleken zo eenvoudig te houden als de wilde fruitvlieg. Veel mutanten ontstaan door het verlies van een eigenschap, en voor de vlieg in kwestie betekent dat meestal geen winst. Daarom gaan mutanten in de natuur doorgaans snel dood. Wanneer ze in Morgans lab wel konden overleven, waren ze vaak toch verminderd levensvatbaar. Zeker wanneer door kruising meerdere mutaties in één dier werden gecombineerd, kon het veel moeite kosten zulke lijnen in leven te houden.

Andere complicaties konden optreden door 'ongewenste' genen. Er zijn bijvoorbeeld genen die de werking van andere genen onderdrukken of veranderen. Zulke genen kunnen ook mutaties onzichtbaar maken, doordat ze de werking van het gemuteerde gen onderdrukken. Dat wil je niet als je met zo'n mutant aan het kruisen bent. Je moet zulke ongewenste genen door slimme kruisingen zien kwijt te raken uit je mutantenlijnen. In elk dier schuilen verder zogenoemde letale genen. Die kunnen dodelijk zijn voor het nageslacht als ze door een kruising met elkaar worden gecombineerd. Ook zulke letale genen moeten dus uit de kweken worden weggewerkt.

Morgans *Drosophila*'s hadden nog andere kuren. Sommige leken bijvoorbeeld niets liever te doen dan zichzelf in hun voedsel te verdrinken. Andere plakten zichzelf in hun voedsel vast en lieten zich daardoor niet meer uit hun kweekfles schudden. Een vervelende categorie waren ook vliegen die je blindgangers zou kunnen noemen: ogenschijnlijke mutanten die bij nader inzien toch geen mutanten waren. Het ging dan om toevallige afwijkingen in het uiterlijk die niet erfelijk wa-

ren. Dat bleek pas wanneer ze nakomelingen kregen.

Allerlei niet-erfelijke variaties kwamen veel voor toen de proeven net waren gestart. Fruitvliegjes zijn gevoelig voor omgevingsomstandigheden als licht, temperatuur, vochtigheid, de beschikbaarheid van voedsel en de groeps grootte. Afhankelijk daarvan heb je krachtige en zwakke lijnen, productieve lijnen met veel nakomelingen en minder productieve, snelle groeiers en langzame. Morgan wilde vanzelfsprekend met de beste lijnen werken. Dus moest hij op zoek naar het meest geschikte voedsel (bananen), de ideale omgevings-temperatuur en luchtvochtigheid, het meest geschikte onderkomen (een melkfles) en de beste groeps grootte (één ouderpaar per melkfles).

Ten slotte waren er dan nog de gebruikelijke problemen van het proefdierenlab: vliegenmijten, muizen op strooptocht, brekende flessen, vergissingen met chemicaliën, weigerende apparatuur, lakse verzorgers enzovoort. Af en toe riep Morgan uit dat hij gek werd van zijn vliegen.

Natuurlijk kun je dit allemaal praktische problemen noemen die een goed onderzoeker moet weten op te oplossen. Maar duidelijk is wel dat Morgan zijn 'ideale proefdier' niet kant en klaar uit de natuur kon plukken. Alleen voor de ervaren kweker-onderzoeker was *Drosophila* een ideaal proefdier. Dat proefdier was bovendien een heel andere vlieg geworden dan zijn wilde soortgenoten. Met het wilde fruitvliegje viel in feite weinig te beginnen, het had niet de gewenste eigenschappen. Morgans *Drosophila*'s waren het product van een zorgvuldig kweekprogramma.

Zo beginnen de laboratorium-*Drosophila*'s al aardig op de instrumenten van de natuurkundige te lijken: je moet er zelf veel aan doen om ze te laten doen wat je wilt. Dit wordt nog duidelijker als we nagaan wat Morgan precies van ze wilde.

Genetic mapping

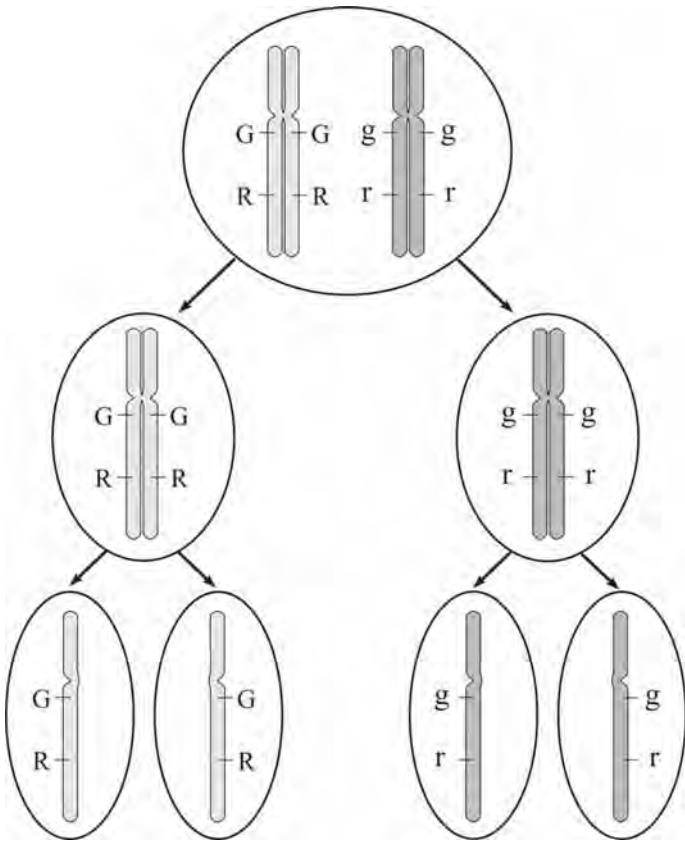
Om te beginnen vond Morgan de *Drosophila*-mutanten interessant omdat hij er de erfelijkheidsregels van Mendel mee kon testen. Een aantal mutanten (niet allemaal) werkte goed mee: Morgans experimenten leverden fraaie bewijzen dat de erfelijkheidswetten van Mendel inderdaad geldig zijn. Dat was een belangrijk resultaat, want er was in die tijd, de vroege twintigste eeuw, nog veel discussie over Mendels theorie.

Maar Morgan ging al snel verder. Zijn experimenten lieten niet alleen zien hoe de genen van *Drosophila* zich in Mendelkruisingen gedragen, maar ook waar die genen zich op de chromosomen bevinden. Dat ging als volgt.

De dragers van de erfelijke eigenschappen, de chromosomen, bevinden zich in de kern van elke lichaamscel. Elk chromosoom bestaat uit twee identieke chromatiden, die op een punt verbonden worden door een zogenoemde centromeer. De chromosomen van een cel horen twee aan twee bij elkaar; ze vormen homologe paren. Een homoloog paar bestaat dus uit vier chromatiden.

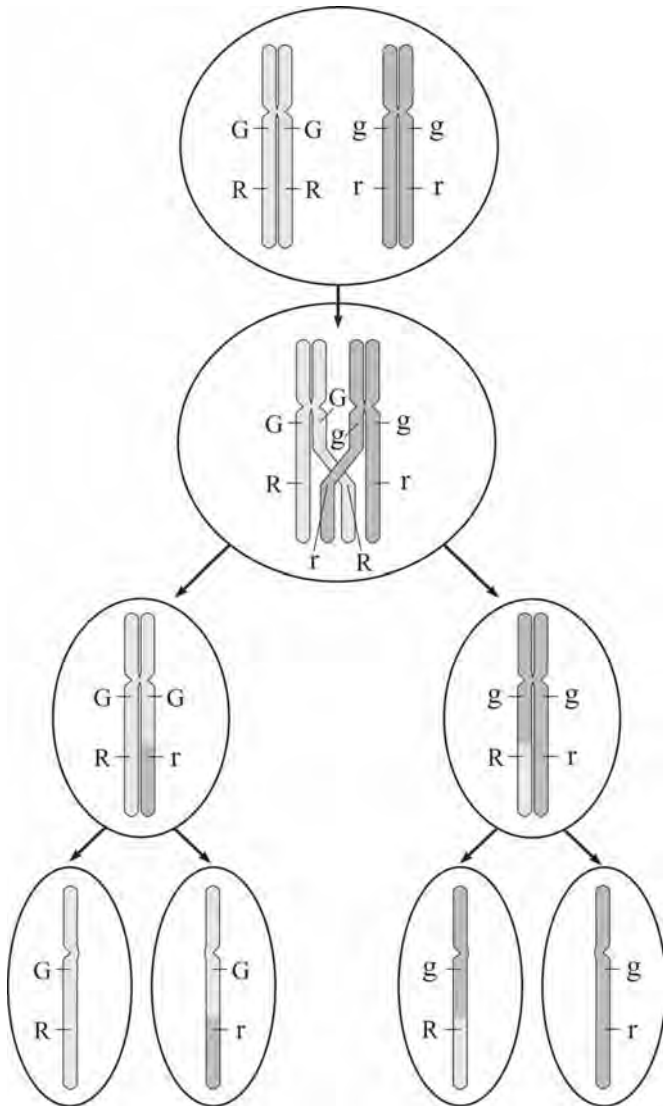
In afbeelding 8.3 is schematisch samengevat hoe de voortplantingscellen of gameten worden gevormd (let hierbij nog even niet op de letters R, G, r en g.). Het begint met een celdeling waarbij de homologe paren worden gescheiden, zodat in elke dochtercel één chromosoom van elk paar terecht komt. Daarna deelt elke dochtercel zich nog een keer in tweeën. Bij deze deling worden de chromosomen zelf gesplitst in twee chromatiden; na de deling bevat elk van de nieuwe cellen één chromatide. Door de twee achtereenvolgende delingen krijgen we dus vier cellen, die ten opzichte van de uitgangscel het halve aantal chromosomen (met elk maar één chromatide) bevatten.

Deze vier cellen zijn de gameten. Bij de bevruchting ver-



Afbeelding 8.3: Schema van de vorming van gameten. Eerst worden de homologe chromosomen gescheiden; daarna splitst elk chromosoom zich in twee chromatiden.

smelten twee gameten (een van vaderszijde en een van moederszijde) met elkaar tot één cel. De chromosomen uit de beide gameten komen samen en vormen weer homologe paren. Daarna vormt elke chromatide er nog een exacte kopie van



Afbeelding 8.4: Schema van crossing-over.

zichzelf bij, en origineel en kopie blijven verbonden via de centromeer. Hiermee zijn we weer terug bij de situatie waarmee we begonnen.

Meestal gebeurt er tijdens de vorming van de gameten nog iets anders: uitwisseling van chromosoom-materiaal tussen de chromatiden van de homologe chromosomen, oftewel *crossing-over* (afbeelding 8.4). Ook hier bestaat het eindresultaat uit vier gameten. Maar door de uitwisseling van materiaal kunnen deze gameten nieuwe combinaties van eigenschappen overbrengen. In het schema is dit te zien door naar de letters te kijken. Die letters duiden genen aan die voor bepaalde kenmerken zorgen.

Bijvoorbeeld: gen R staat voor rode ogen; gen r is een mutant van R en staat voor witte ogen; G staat voor gladde vleugels; g is een mutant van G die voor gekrulde vleugels zorgt. Hierbij zijn R en G dominant over r en g. Dat wil zeggen dat een dier met een R altijd rode ogen geeft en een dier met een G altijd gladde vleugels. Een dier met een r heeft alleen witte ogen als er op het andere chromosoom van het homologe paar ook een r aanwezig is en geen R. Idem dito bij G en g: G geeft altijd gladde vleugels, g geeft alleen gekrulde vleugels bij afwezigheid van G.

In afbeelding 8.3 en in afbeelding 8.4 is de beginsituatie gelijk: de homologe chromosomen bevatten ofwel R en G, ofwel r en g. R-G en r-g komen dus altijd samen op één chromosoom voor. Of, zoals de geneticus zegt: R-G en r-g zijn aan elkaar gekoppeld op hetzelfde chromosoom. Hieruit volgt onder meer dat een dier met een R niet alleen rode ogen heeft, maar ook gladde vleugels – dat is de consequentie van de koppeling van R met G.

In afbeelding 8.3 blijft de koppeling tijdens de twee delingen gehandhaafd. De vier gameten bevatten dus ook ofwel R-G, ofwel r-g. Maar in afbeelding 8.4 verandert er iets. Hier

krijg je twee gameten die respectievelijk R-g en r-G bevatten. En die kunnen in het nageslacht voor een combinatie van eigenschappen zorgen die de ouders niet hadden. Bijvoorbeeld: in afbeelding 8.3 en afbeelding 8.4 zijn we begonnen met een paar homologe chromosomen waarop R en G voorkomen, en r en g. Een dier met zulke chromosomen heeft dus rode ogen en gladde vleugels, want R en G zijn dominant. Stel we hebben twee dieren die er zo uitzien, een mannetje en een vrouwtje, die met elkaar paren. Beide kunnen ze dankzij *crossing-over* (onder andere) een R-g gameet produceren. Stel nu ook dat een nakomeling van beide ouders zo'n R-g gameet krijgt. Hij heeft dan rode ogen en gekrulde vleugels: een nieuwe combinatie die in geen van beide ouders voorkwam. De gekoppelde overerving van rood-glad is hier door *crossing-over* letterlijk doorbroken.

Morgan en zijn medewerkers zagen in het optreden van *crossing-over* een mogelijkheid om iets te zeggen over de plaats van een gen op een chromosoom. Want *crossing-over* is een kwestie van toeval. Er treedt een breuk op in de chromatiden en er wordt kruiselings materiaal uitgewisseld. Als twee genen heel dicht bij elkaar op een chromosoom liggen, is de kans niet groot dat er precies tussenin een breuk optreedt. Die kans wordt groter naarmate de genen verder van elkaar liggen, want dan zijn er eenvoudig meer plaatsen waar een breuk kan ontstaan. Dit betekent dat nieuwe combinaties in het nageslacht vaker optreden naarmate de betreffende genen verder uit elkaar liggen en zeldzamer zijn naarmate ze dichter bijeen liggen. Met andere woorden: het percentage dieren met nieuwe combinaties geeft aan hoe vaak er bij de chromosomen van de ouders *crossing-over* is opgetreden. En dit is tegelijk een maat voor hoever de betreffende genen uit elkaar liggen.

Door een reeks kruisingen te doen met telkens andere

koppels genen kun je van al die genen hun onderlinge afstanden bepalen. Het eindresultaat is een 'kaart' van een chromosoom met daarop de relatieve posities van de genen ten opzichte van elkaar. Dit is het principe van *genetic mapping* waarmee Morgan beroemd werd. Je hebt dan de erfelijke eigenschappen letterlijk in kaart gebracht.

De standaardvlieg

Deze uitleg maakt al duidelijk dat *genetic mapping* geen kwestie is van simpelweg wilde *Drosophila*'s kweken, net zolang tot de mutanten en de onverwachte *crossing-over*-combinaties opduiken waarin je geïnteresseerd bent. Het kan wel op die manier, maar het zou een erg langdurige geschiedenis worden. Het schiet pas op als je systematisch te werk gaat en steeds precies weet wat je doet. Anders gezegd, je moet precies weten wat de eigenschappen zijn van de vliegenstammen die je kruist. Dit kun je het best bereiken door die stammen zelf te maken, ook weer door middel van uitgekende kruisingen.

Ook Morgan werkte met vliegenlijnen waarvan de samenstelling bekend was. In de praktijk bleek het prepareren van zulke lijnen nog een hele kunst. Met koppels genen die erg dicht bij elkaar op het chromosoom liggen, valt bijvoorbeeld niet te werken. Zoals gezegd is de kans op *crossing-over* precies tussen die genen in dan erg klein, zodat je ongehoord veel nakomelingen moet kweken om de gewenste nieuwe combinaties te krijgen. Koppels genen die erg ver van elkaar afliggen zijn ook niet geschikt, want dan kan er twee of meer keren *crossing-over* tussen de genen optreden, wat de uitkomsten nog gecompliceerder maakt.

Het prepareren van lijnen bracht nog andere problemen met zich mee. Al vermeld zijn de combinaties van minder le-

vensvatbare lijnen: hoe meer gemuteerde genen op een chromosoom, des te zwakker vaak het vliegje. Ook kunnen er door kruisingen en *crossing-over* dodelijke combinaties van genen ontstaan, waardoor de vliegjes waarnaar je zoekt nooit uit het ei komen. Genen kunnen elkaar op allerlei manieren beïnvloeden, en door *crossing-over* kunnen effecten ontstaan die je niet bedoeld had.

Een verdere complicatie is dat bij *genetic mapping* wordt aangenomen dat de kans op *crossing-over* over het hele chromosoom even groot is. Dat is lang niet altijd het geval. Hiervoor moet dan weer gecorrigeerd worden. Sommige stukken chromosoom zijn wat dit betreft weerbarstiger dan andere, en bij bepaalde genenkoppels moet je speciale lijnen construeren om de problemen te omzeilen.

Om snel en effectief te kunnen werken, stelden Morgan en zijn medewerkers een aantal lijnen van 'gestandaardiseerde' vliegen samen. Dit waren levenskrachtige en productieve vliegen zonder kuren, en met chromosomen die zich wat betreft *crossing-over* netjes gedroegen. Ze hadden bekende mutaties die regelmatig over het chromosoom waren verdeeld en waarvan de positie op het chromosoom bekend was. Kruiste je nu een vlieg met nieuwe mutaties met zo'n standaardvlieg, dan kon je, bij de nakomelingen, uit de *crossing-over*-percentages van bekende en nieuwe mutaties afleiden waar die nieuwe mutaties ongeveer op het chromosoom lagen.

De noodzaak van efficiënt werken met standaardvliegen blijkt overtuigend uit een paar statistieken. In 1914, na een paar jaar experimenteren, was het aantal bekende mutaties opgelopen tot 100. In 1925 waren dat er al 395. De *genetic maps* die Morgans team rond 1920 publiceerde, waren gebaseerd op gegevens van zo'n tien miljoen vliegen. En in totaal waren er bij de kruisingsexperimenten tussen de dertien en twintig miljoen vliegen betrokken.

Genetisch instrument

Dat *genetic mapping* een grootschalige en gecompliceerde onderneming was, is dus wel duidelijk. Maar dat is niet de moraal van dit verhaal. Wetenschappers zijn er goed in met grote aantallen gegevens om te gaan, en ook Morgan en zijn medewerkers werden gaandeweg steeds handiger in hun werk. De moraal is wel dat *the making of* het ideale proefdier de sleutel was tot het succes. Met wilde fruitvliegjes kun je geen *genetic mapping* doen. Eerst moet je hun gedrag en behoeftes door en door kennen en met die kennis moet je de kweek optimaliseren. Vervolgens heb je voor elk stukje *genetic map* dat je wilt ophelderen specifieke mutanten nodig waarvan je de genetische samenstelling kent. Voor experimenten op grote schaal kun je niet zonder gestandaardiseerde vliegen die zo in elkaar zijn gezet dat ze in reeksen van kruisingen inzetbaar zijn en dan precies doen wat je van ze vraagt. In de natuur komt het ideale proefdier niet voor. De onderzoeker moet zijn ideale proefdier zelf maken.

Drosophila was, met andere woorden, een laboratorium-instrument, met veel kennis en vernuft gemaakt om precies die gegevens te kunnen registreren waarin de onderzoekers geïnteresseerd waren. *Drosophila melanogaster*, zeggen de handboeken, stelde Morgan en zijn medewerkers in staat te begrijpen hoe erfelijkheid werkt. Maar het was een gestandaardiseerde laboratoriumvlieg die dat mogelijk maakte, niet de wilde fruitvlieg in de natuur.

Pasteurs geheim

Achter de schermen van de roem

Louis Pasteur was geen wonderkind. Alleen door jarenlang keihard te werken bereikte hij de top van de Franse wetenschap. Hij leefde voor zijn werk en boekte schitterende resultaten. Niet alleen voor de wetenschap zelf, maar voor de mensheid als geheel. Aan Pasteur danken we bijvoorbeeld vaccins tegen dodelijke infectieziekten als miltvuur en hondsdolheid. Hij ontdekte ook dat je bederfelijke voedingswaren langer kunt bewaren als je ze een tijd verhit: de methode van het 'pasteuriseren'. Pasteurs loopbaan illustreert zo wat je met gedrevenheid en doorzettingsvermogen kunt bereiken. Wetenschappers beschouwen hem als het perfecte rolmodel voor de aankomende onderzoeker.

Verbijstering alom dus toen Pasteur enkele jaren geleden van bedrog werd beschuldigd. Pasteur een oplichter? Wetenschappers konden het haast niet geloven. Wilden het soms ook niet geloven, want een aanval op de modelwetenschapper Pasteur was een aanval op de hele wetenschap. Dit laatste was overdreven. Niet elke wetenschapper hoeft zich door de beschuldiging aan Pasteurs adres aangesproken te voelen. De kwestie heeft wel laten zien dat zelfs een klassieke wetenschappelijke 'held' als Pasteur geen heilige was. Ons beeld van zijn werk is er misschien niet mooier op geworden, maar wel realistischer.



Afbeelding 9.1: Louis Pasteur kwam in 1822 als zoon van een leerlooier ter wereld in Dôle in de Franse Jura. Hij studeerde natuur- en scheikunde en was vanaf 1849 achtereenvolgens hoogleraar scheikunde in Straatsburg, Lille en Parijs. In 1857 werd hij tevens onderzoeksdirecteur aan de Ecole Normale in Parijs. Vanaf 1888 was hij directeur van het Instituut Pasteur in Parijs. Hij overleed in 1895 in Chateau Villeneuve-l'Étang bij Parijs. Hier is Pasteur afgebeeld als 'weldoener van de mensheid'.

Wat had Pasteur uitgehaald? Om te beginnen is het belangrijk te weten dat hij niet voldeed aan het cliché van de stille, bescheiden geleerde die nooit zijn laboratorium uitkomt. Pasteur was ambitieus en wilde publieke erkenning voor zijn werk. Dus zocht hij de publiciteit als hij iets belangrijks had gevonden. Tegenwoordig zijn we op dit gebied wel wat gewend. Wetenschappers presenteren hun werk steeds vaker in de media. Toch kijkt de moderne onderzoeker nog verbaasd op van de manier waarop Pasteur de pers inschakelde. Als hij een ontdekking had gedaan, praatte hij niet even een uurtje met een journalist, maar zette hij een publiciteitsstunt op touw. In zijn meest spectaculaire vorm betekende dit dat Pasteur in het openbaar een experiment uitvoerde. Pers en publiek konden het wonder van zijn nieuwe vondst dan met eigen ogen aanschouwen.

Dat was dus wel wat kermisachtig. Je zou ook kunnen mopperen dat zo'n demonstratie onvermijdelijk een beetje misleidend is. Om zeker te weten dat het slaagt, moet je het experiment namelijk altijd enigszins voorkoken. Proeven mislukken nu eenmaal vaak, en dat kun je je bij een demonstratie niet permitteren, als je tenminste geen modderfiguur wilt slaan. Van bedrog hoeft hier nog geen sprake te zijn, maar de grens van het toelaatbare komt wel in zicht. Je kunt je voorstellen dat een wetenschapper in zo'n situatie die grens opzoekt, puur omwille van het spektakel.

Pasteur ging bij een van zijn demonstratie-experimenten ruimschoots over de grens heen.

Pouilly-le-Fort

Op 2 juni 1881 verzamelden zich meer dan tweehonderd mensen bij de boerderij van veerts Hippolyte Rossignol in het dorpje Pouilly-le-Fort, zo'n veertig kilometer onder Pa-

rijs. Het was een bont gezelschap van boeren, ambtenaren, politici, veeartsen, landbouwkundigen en journalisten. Zelfs een correspondent van de *London Times* had de moeite genomen de trein uit Parijs te nemen.

Allemaal kwamen ze af op een evenement dat met veel publiciteit was aangekondigd. Pasteur zou het resultaat laten zien van een proef met een vaccin tegen miltvuur bij vee. Miltvuur, ook bekend als anthrax, was een dodelijke ziekte die de Franse veeteelt jaarlijks miljoenen francs schade bezorgde. De belangen waren dus groot. Het ging op die tweede juni om de eerste openbare demonstratie ooit van een vaccin dat in een laboratorium was gemaakt.

Voor de proef was een koppel schapen ter beschikking gesteld. (Later kwamen daar nog een paar geiten en koeien bij, maar voor het gemak houden we het bij de schapen.) Tien schapen kregen geen enkele behandeling. Ze waren bedoeld als controle en hoorden gewoon gezond te blijven. Zouden ze tijdens de proefperiode toch ziek worden, dan was er een 'onbedoelde' ziekteverwekker in het spel, en dan was het experiment ongeldig. Van de 48 overige schapen werd de helft behandeld met Pasteurs vaccin tegen miltvuur. Twee keer om precies te zijn, op 5 mei en op 17 mei. De resterende vierentwintig schapen kregen geen vaccin. Ten slotte werden op 31 mei beide groepen van 24 schapen ingespoten met dodelijke miltvuurbacillen.

Om twee uur in de middag van de tweede juni was het grote moment aangebroken. Pasteur toonde de schapen aan het publiek. Applaus en felicitaties. Het succes was compleet: de gevaccineerde schapen waren springlevend, de niet-gevaccineerde waren dood of stervende, en de tien controleschapen waren gezond. Het nieuws verspreidde zich snel. Pasteur was al een nationale held door zijn pasteurisatietechniek, die van groot belang was voor de Franse wijnbouw. Nu werd hij,

als bedwinger van miltvuur, een internationale held.

Pasteur was op de grote dag niet meer zenuwachtig geweest over de uitkomst van de proef. In de ochtend had hij al een telegram van veearts Rossignol ontvangen dat het experiment was geslaagd. Pasteur was er ook de man niet naar om zich te laten verrassen. Al enkele dagen voor 31 mei had hij, buiten het officiële protocol van de proef om, een paar gevaccineerde en ongevaccineerde schapen ingespoten met miltvuurbacillen. Het resultaat was zoals verwacht: de gevaccineerde dieren overleefden het, de ongevaccineerde niet. Na de wel officiële injecties met bacillen op 31 mei was het toch nog even spannend geweest, omdat ook een paar gevaccineerde schapen hoge koorts hadden gekregen. Maar deze dieren waren op 2 juni weer hersteld.

Pasteur had zich dus enigszins tegen een fiasco ingedekt door een paar schapen eerder dan afgesproken met miltvuur te besmetten, maar dat kunnen we hem niet kwalijk nemen. De demonstratie bleef een waagstuk, want hij had nog nauwelijks ervaring met het vaccin. Het was lang niet zeker dat het bij toepassing op een grote groep dieren goed zou werken. Op de succesvolle uitkomst valt weinig af te dingen. Een dag na de proef stierf er nog wel een gevaccineerd schaap, maar bij autopsie bleek dat dit dier een lam droeg dat al een tijd dood was.

Wat was er dan niet in de haak? Dat is pas lang na Pasteurs dood duidelijk geworden. In zijn officiële rapport over het experiment in Pouilly-le-Fort beschreef hij heel gedetailleerd hoe de proef was uitgevoerd. Maar één belangrijk gegeven liet hij zo goed als onbesproken, en dat was hoe hij het vaccin tegen miltvuur precies gemaakt had. Dit hoeft nog geen argwaan te wekken. Pasteurs laboratorium werkte toen nog aan de verdere ontwikkeling van het vaccin, dus valt te begrijpen dat hij geen details gaf. Maar Pasteur suggereerde wel indirect

hoe hij het vaccin had bereid, en hiermee zette hij zijn lezers bewust op het verkeerde been.

Het miltvuurvaccin, beweerde Pasteur, was van eenzelfde type als het vaccin dat hij eerder met succes had ingezet tegen een ziekte van kippen, de kippencholera. Dit laatste vaccin bestond uit verzwakte kippencholerabacillen. Deze verzwakte bacillen waren niet dodelijk voor kippen, maar maakten de dieren juist immuun voor een latere injectie met onverzwakte cholerabacillen. Pasteur had de verzwakte bacillen heel eenvoudig verkregen, namelijk door een schaalpje met bacillen bloot te stellen aan de lucht. Zijn theorie was dat de zuurstof in de lucht voor de verzwakking zorgde. In een luchtdicht afgesloten buisje verloren cholerabacillen in elk geval niets van hun dodelijke kracht.

Ook over de manier waarop het kippencholera-vaccin werkte, had Pasteur een theorie. Hij dacht dat ziekteverwekkende bacillen bepaalde voedingsstoffen uit de weefsels van het geïnfecteerde dier opnamen. De verzwakte bacillen in het vaccin konden het dier niet meer ziek maken, maar ze namen nog wel alle beschikbare voedingsstoffen op. Werden nu een tijd later onverzwakte bacillen ingespoten, dan vonden die geen voedsel meer, zodat ze stierven voordat ze het dier ziek konden maken.

Terzijde: we hebben hier een mooi voorbeeld dat wetenschap die 'werkt' nog niet 'waar' hoeft te zijn: Pasteurs vaccin was effectief, maar zijn theoretische ideeën over de werking waren onjuist. De moderne theorie is dat inspuiting van verzwakte bacillen het lichaam aanzet tot de productie van antistoffen. Deze antistoffen blijven in het lichaam en zorgen voor de immuniteit.

In zijn rapport over de miltvuurproef in Pouilly-le-Fort suggereerde Pasteur dus dat hij in dit geval dezelfde techniek had toegepast als bij de bestrijding van kippencholera. Het

vaccin zou bereid zijn door verzwakking van de ziekteverwekkende miltvuurbacillen door blootstelling aan de lucht. Maar dit was niet de werkelijke toedracht. Het miltvuurvaccin was op een andere manier gemaakt.

Hoe, dat hielden Pasteur en zijn medewerkers zorgvuldig geheim. Pas veertig jaar na Pasteurs dood, in 1937, gaf een oud-medewerker voor het eerst de werkelijke bereidingswijze van het vaccin prijs. Maar hij vertelde er niet bij dat Pasteur zelf een ander verhaal had verteld. Het leek daardoor geen onthulling, en niemand schonk er aandacht aan. Pas kort geleden, toen historici Pasteurs laboratoriumjournaal gingen bestuderen, kwam het verschil tussen zijn woorden en daden eindelijk aan het licht.

De race om een vaccin

Wat bleek? Pasteur had zijn miltvuurvaccin niet verkregen door blootstelling van de bacillen aan de lucht, maar door ze met kalium-bichromaat te behandelen. Maakt dat nu zoveel uit? Jazeker, want die methode had hij afgekeken van de dierenarts Jean-Joseph Toussaint, en dat was zijn concurrent in de race om een miltvuurvaccin in handen te krijgen.

Toussaint kondigde al in juli 1880 aan dat hij een vaccin tegen miltvuur had gevonden. Dat was dus bijna een jaar voor Pasteurs demonstratie in Pouilly-le-Fort. Toussaint claimde dat hij zijn vaccin met succes had getest op honden en schapen. Pasteur werkte op dat moment ook aan een vaccin, maar hij kon nog geen definitieve resultaten presenteren. Toussaint leek hem dus voor te zijn. Maar in de weken na zijn aankondiging kwam Toussaint erachter dat zijn vaccin niet feilloos werkte. Daardoor ging hij twifelen aan de methode die hij had gebruikt.

Toussaint had zijn vaccin gemaakt door miltvuurbacillen

te verhitten tot 55 graden Celcius. Daarbij gingen de bacillen dood, maar er kwam tegelijk een stof vrij die giftig was voor de bacillen zelf. Deze giftige stof zou dieren die ermee werden ingespoten immuun maken voor levende miltvuurbacillen. Althans, dat was Toussaints theorie.

Volgens Pasteur kon zo'n vaccin niet werken. Zijn overtuiging was dat de werking van een vaccin berustte op de activiteit van *levende* bacillen. Verzwakte bacillen weliswaar, maar levende. Die aten zoals gezegd alle voedingsstoffen in de weefsels van het gevaccineerde dier op, en daardoor werd het dier immuun voor een aanval van onverzwakte bacillen. Dode bacillen namen geen voedsel op. Anders gezegd, als Toussaint gelijk had dat *dode* bacillen een effectief vaccin konden leveren, dan kon Pasteurs theorie in de prullenbak.

Wetend dat zijn methode niet betrouwbaar was, ging Toussaint ondertussen verder met zijn experimenten. In plaats van met verhitting probeerde hij nu een vaccin te maken door de miltvuurbacillen te doden met een antiseptische stof, fenol. Ook dit leverde geen zekere resultaten, maar Toussaint dacht wel op de goede weg te zijn. Bij een proef met twintig schapen gingen er vier dood toen ze het vaccin kregen ingespoten. De andere werden ernstig ziek. Maar ze herstelden weer en bleken ondertussen immuun te zijn geworden.

In Pasteurs kamp kwam het miltvuurprobleem ook centraal te staan. In oktober 1880 was zijn vaccin tegen kippencholera klaar, en Pasteur paste nu dezelfde benadering toe om een miltvuurvaccin te maken: verzwakking van de bacillen door blootstelling aan de lucht dus. Maar zo eenvoudig als het klinkt, zo lastig bleek het in de praktijk. Het vaccin dat hij op deze manier kreeg, was net zo min betrouwbaar als dat van Toussaint.

Desondanks was Pasteur er zeker van dat zijn theorie klop-

te. Of was hij misschien bang de race met Toussaint te verliezen? Hoe dan ook, vroeg in 1881 kondigde Pasteur aan dat hij een vaccin tegen miltvuur had gevonden, bereid op dezelfde manier als zijn kippencholeravaccin. De werking zou hij binnenkort in het openbaar demonstreren.

Toen hij dit hoorde, kwam Hippolyte Rossignol in actie, de veearts uit Pouilly-le-Fort. Hij geloofde er niets van en daagde Pasteur uit zijn bewering hard te maken. Hij stelde zijn boerderij ter beschikking en zou voor de benodigde proefdieren zorgen. Pasteur nam de uitdaging aan.

Eigenlijk kwam de uitdaging te vroeg. Het vaccin was nog steeds wispelturig en Pasteur liep het risico publiekelijk onderuit te gaan. Maar zover liet hij het niet komen. Al maanden eerder had hij via via gehoord van Toussaints nieuwe pogingen een vaccin te maken met behulp van antiseptische stoffen. Een van zijn eigen medewerkers was ook met dergelijke stoffen gaan experimenteren. En met opmerkelijk succes. Een vaccin bereid met behulp van kalium-bichromaat (ook een antiseptische stof) deed het in tests wel goed. Terwijl Pasteurs eigen vaccin maar bleef haperen.

Toen de zaak door Rossignol op de spits werd gedreven, wist Pasteur wat hem te doen stond. Nadat de afspraak voor de demonstratieproef was gemaakt, riep hij zijn medewerkers bij elkaar en zei: we gebruiken het kalium-bichromaat. Zo geschiedde, en Pasteur werd de held van Pouilly-le-Fort.

Doel en middelen

Er is wel iets ter verdediging van Pasteur te zeggen, maar eigenlijk maakt dit de zaak er voor hem niet beter op. Het lijkt alsof Pasteur doodleuk een vaccin gebruikte dat volgens zijn eigen theorie onmogelijk effectief kon zijn. Immers, door de antiseptische stof gingen de bacillen dood, en dode bacillen

konden volgens Pasteur niet als vaccin werken. Maar zo bont maakte Pasteur het niet. Toen hij de werking van antiseptische stoffen in zijn lab liet onderzoeken, geloofde hij niet meer dat antiseptische stoffen de bacillen allemaal doodden. Toussaints proeven waren niet helemaal mislukt, en dat zou wel eens kunnen komen doordat antiseptische stoffen een deel van de bacillen niet doodmaakten maar alleen verzwakten. Hetzelfde effect dus als bij blootstelling aan de lucht. Zo kon Pasteur de methode van zijn tegenstander gebruiken en ondertussen in zijn eigen theorie blijven geloven.

Maar dit pleit Pasteur natuurlijk niet vrij van misleiding. En wat was er makkelijker geweest dan Toussaint een deel van de eer te gunnen? Hier komt nog bij dat Toussaint ondertussen in Pasteurs richting was opgeschoven. Ook hij begon te denken dat een vaccin levende bacillen bevatte. Pasteur wist dit, maar negeerde het. In zijn publicaties bleef hij erbij dat Toussaint een verkeerde theorie en een verkeerde methode hanteerde. Pasteur wilde de overwinning helemaal voor zichzelf.

Pasteurs vaste geloof in zijn eigen theorie zou uiteindelijk nog vruchten afwerpen ook. Na de demonstratie in Pouilly-le-Fort bleef hij proberen een goed vaccin te maken volgens zijn eigen recept. En dat lukte uiteindelijk, zodat Pasteur zijn gelijk achteraf toch nog bevestigd zag. Maar ook dit is natuurlijk geen excuus voor de misleiding waarmee hij de demonstratie bij Pouilly-le-Fort naar zijn hand zette.

'Wie niet waagt, die niet wint', zei Pasteur graag. Het ging hem om winnen, en om zijn doel te bereiken schrok hij niet terug voor hoog spel, zelfs niet voor vals spel. Het bleef ook niet bij één keer, het was een patroon in Pasteurs werkwijze.

Een ander voorbeeld om dit te illustreren. Een paar jaar na de miltvuurproef ontwikkelde Pasteur een vaccin tegen hondsdolheid. Toen dit vaccin eenmaal gereed was en op gro-

te schaal werd toegepast, bleek het goed te werken. Maar tijdens de ontwikkeling ervan was Pasteur weer geruime tijd onzeker over de beste bereidingsmethode en over de effectiviteit. Proeven met honden gaven geen betrouwbaar resultaat. Toch probeerde hij het vaccin toen in het geheim al op twee menselijke patiënten uit (met onduidelijke uitkomst). Terwijl hij in zijn publicaties altijd beweerde dat zoiets natuurlijk misdadig was: vóór je een vaccin op mensen toepaste, moest het zijn werkzaamheid bij dieren bewezen hebben.

Voor Pasteur heiligde het doel blijkbaar de middelen. Het doel was een werkzaam vaccin, en dat kwam er. Maar hoever mag je gaan om dat doel te bereiken? Wat wel en niet mag, daar hoeven we hier geen oordeel over te vellen. Pasteur ging over de schreef, zoveel is duidelijk. Hij blijft een van de beste en belangrijkste onderzoekers die we ooit hebben gehad. Maar hij was geen heilige.

Twee keer van aap tot mens

Wetenschap en cultuur

Wetenschap is een onderdeel van onze cultuur, en cultuur is mensenwerk. Toch wordt wetenschap vaak anders bekeken dan andere uitingen van cultuur zoals de politiek, de schilderkunst, de architectuur of de sport. Het is wel allemaal cultuur, zegt men dan, maar wetenschap past toch niet echt in het rijtje. De architectuur, de politiek, enzovoort, veranderen met de cultuur. Je kunt er een tijdperiode zelfs mee karakteriseren. Wie aan de Baroktijd denkt, denkt meteen aan Bachs muziek of aan rijk gedecoreerde kerken. Voor wetenschap lijkt dit niet op te gaan. De wetenschap wil tijdloze kennis verzamelen: kennis die altijd geldig blijft, ongeacht de cultuur en de tijd.

Of de wetenschap inderdaad zulke tijdloze kennis voortbrengt, zullen we nooit zeker weten. Wetenschappers van alle tijden hebben gedacht dat hun kennis de waarheid was, of tenminste een goede benadering ervan. Maar als je een halve eeuw verder kijkt, is er van hun waarheden meestal maar weinig overeenind gebleven. Wij kunnen maar beter niet de illusie hebben dat het tegenwoordig anders is. Sterker nog, kennis gaat eerder steeds minder lang mee. Vaak is er een paar jaar later alweer een nieuw gezichtspunt. Maar ook kennis die het langer uithoudt, kan uiteindelijk toch nog op het kerkhof van de wetenschap belanden



Afbeelding 10.1: Sherwood Washburn werd in 1911 geboren in Cambridge, Massachusetts. Hij studeerde aan Harvard University en promoveerde in 1940 in de antropologie. Hij werkte daarna aan de universiteiten van Columbia en Chicago. Van 1958 tot 1978 was hij hoogleraar antropologie aan de University of California in Berkeley. Hij overleed in 2002 in Berkeley.

Wat we wel weten, is dat wetenschappelijke kennis net als een schilderij of een roman hoe dan ook mensenwerk blijft. Wetenschappers werken niet in een vacuüm maar in een bepaalde cultuur. Om de cultuurgebondenheid van wetenschap te illustreren, volgen hier twee theorieën over de evolutie van de mens uit aapachtige voorouders. De eerste theorie dateert uit de jaren 1950 en is van de Sherwood Washburn, toenter-

tijd een vooraanstaand Amerikaans antropoloog. De tweede theorie, uit de jaren 1970, is van Sarah B. Hrdy, een Amerikaanse die nog steeds een grote reputatie heeft als onderzoeker van apen- en mensengedrag.

Washburn en Hrdy schelen maar een generatie. Zie hoe wetenschap en wetenschappers in zo'n korte tijd kunnen veranderen.

Man the hunter

Sherwood Washburn ontwikkelde zijn theorie in de jaren vijftig en zestig van de vorige eeuw. De evolutie van de mens was volgens Washburn begonnen toen een mensapensoort rechtop was gaan lopen. De vergroting van de hersenen volgde pas later. In Afrika gevonden fossielen van de australopitheken (*Australopithecus*) leverden hiervoor een bewijs. Deze oudste mensachtigen liepen rechtop, maar hadden nog kleine hersenen, niet groter dan die van mensapen. Rechtop lopen was geëvolueerd toen het bos waarin onze apenvoouders leefden verdween en plaatsmaakte voor een opener savanne-landschap. Vluchten in de bomen kon niet meer, en een goed overzicht over de vlakte was nodig om niet door roofdieren verrast te worden.

De tweebeenige gang maakte de handen vrij voor het hanteren van werktuigen en wapens. Bij de australopitheken was al te zien dat de mannen niet meer zulke vervaarlijke hoektanden hadden als apenmannetjes. Blijkbaar konden ze zich op een andere manier verdedigen. Het gebruiken en later ook maken van wapens en werktuigen betekende volgens Washburn een keerpunt. Het was het begin van de ontwikkeling van cultuur, en hierdoor zouden de mensachtigen zich steeds meer van dieren gaan onderscheiden.

Om de handen handiger te maken, moesten de hersenen

groter worden. Grotere hersenen openden weer nieuwe mogelijkheden, zoals een gevarieerd sociaal verkeer. Wat op zijn beurt weer nog grotere hersenen voordelig maakte. Met het toenemen van de hersencapaciteit werd de mens zich steeds meer van zichzelf bewust, en uiteindelijk ontstond communicatie door middel van taal. Vandaar ook de wetenschappelijke naam van de moderne mens: *Homo sapiens*, de 'wetende' mens.

De menswording was een geleidelijk proces. De kenmerken die ons menselijk maken ontstonden stapsgewijs, niet allemaal tegelijk. Toch was er volgens Washburn één fase in het hele proces aan te wijzen die cruciaal was voor wat het betekende 'mens' te zijn. Dit was de ontwikkeling van de georganiseerde jacht op groot wild. Hierbij ontstonden de eigenschappen die alle moderne mensen als gemeenschappelijk erfgoed meedragen.

De hele ontstaansgeschiedenis van de moderne mens, naar lichaam en geest, biologisch en cultureel, was volgens Washburn te karakteriseren als de evolutie van *Man the hunter*. De vroegste mensachtigen waren nog hoofdzakelijk vegetariërs geweest die maar incidenteel vlees aten. Toen de evolutie van handen en hersenen het gebruik van wapens en werktuigen mogelijk maakte, werd de jacht op dieren meer systematisch. Het hoogtepunt van deze ontwikkeling was de jacht op groot wild, door een groep samenwerkende individuen van een stam.

De groepsjacht vereiste praktische en geestelijke vaardigheden: wapens maken, oefening in hun gebruik, planning, samenwerking, delen van de buit, verdedigen van het jachtgebied tegen indringers, en dergelijke. Niet ieder lid van de stam was overall even goed in, dus werden de taken verdeeld. Om te beginnen tussen mannen en vrouwen: alleen de mannen jaagden.

Natuurlijk was de moderne mens niet meer letterlijk een jager. Zo'n tien- tot twaalfduizend jaar geleden was de landbouw ontstaan, wat een heel andere leefwijze meebracht. Maar in de tijd gezien besloeg die landbouwfase maar één procent van de menselijke geschiedenis. Evolutionair gesproken was de mens nog steeds een jager. En zo gedroeg hij zich ook. De eigenschappen die hem tot jager maakten, waren nog steeds bepalend voor menselijk gedrag. Net als de jagersgemeenschap kenmerkte de hedendaagse maatschappij zich door taakverdeling, overleg, samenwerking en samen delen. In het moderne leven hadden die kenmerken de vorm aangenomen van economische activiteiten, arbeidsdeling, politiek, sociale organisatie en landsverdediging.

Zelfs de kiem van het moderne gezin zag Washburn al in de jagerscultuur. Naast vlees stond er nog steeds plantaardig voedsel op het menu. Dat werd verzameld door de vrouwen. Die zorgden voor de kinderen terwijl de mannen op jacht waren. Daarnaast maakten ze zich nuttig met het oogsten van fruit, zaden en planten. Waar de vrouwen en kinderen gezamenlijk achterbleven, ontstond vanzelf een kamp waar de mannen na de jacht terugkeerden. Het lag voor de hand dat iedere man zijn deel van de buit weer deelde met vrouw en kinderen.

Er was volgens Washburn een biologisch gegeven dat op deze paarvorming van man en vrouw wees. Dat was dat de bronst bij de mens was verdwenen. Bij de mensapen waren de vrouwtjes alleen in de bronstperiode bereid tot paren. Daarbuiten gingen mannelijke en vrouwelijk apen ieder huns weegs. Bij de mens waren de vrouwen in beginsel bijna altijd seksueel ontvankelijk, niet alleen tijdens hun vruchtbare dagen. Daardoor werd de vaste paarvorming tussen man en vrouw bevorderd. De vrouw kreeg zo het voedsel en de bescherming die ze nodig had. De man kon redelijk zeker zijn

van het vaderschap van zijn kinderen en was daarom bereid voor ze te zorgen. De groep als geheel profiteerde doordat de jacht niet periodiek onderbroken hoefde te worden voor voortplantingsactiviteiten, met alle onrust die dat meebracht.

Apengedrag

Een generatie later, in de jaren 1970, bekeek apenonderzoekster Sarah Hrdy (spreek uit hurdie) de menswording vanuit een ander perspectief. Waar Washburns geschiedenis om de mannen draaide, concentreerde zij zich op de vrouwen. Ook Hrdy beschouwde de jacht als een belangrijke vernieuwing. Maar met Washburns ideeën over de groepsdynamiek bij vroege mensachtigen was ze het niet eens.

Ondertussen was de aanduiding *Man the hunter* al in onbruik geraakt. Die legde het accent wel erg eenzijdig op de mannen. Het Engelse *Man* staat dan wel voor 'mens', maar dat is op zichzelf al veelzeggend. Beter was het om onze voorouders *hunter-gatherers* te noemen, jagers-verzamelaars, waarmee ook de activiteiten van de vrouwen werden benoemd.

Maar de rol van de vrouwen in Washburns model was hoe dan ook een ondergeschikte. De menswording kwam vooral op conto van de mannengemeenschap, door het ontstaan van de jacht. De evolutie van de vrouwen hobbelde daar een beetje achteraan. Als specifiek werktuig voor vrouwen noemde Washburn alleen een draagband om een kind te kunnen meedragen tijdens het verzamelen van voedsel. De meest opvallende verandering bij de vrouwen was iets dat ze kwijtraakten, namelijk de bronst.

Hrdy was om verschillende redenen ontevreden met dit model. Eén daarvan was dat Washburn te sterk leunde op gegevens over mantelbavianen. Washburn wist nog maar weinig van het gedrag van apen. Veldstudies in het wild zouden



Afbeelding 10.2: Sarah Blaffer Hrdy werd in 1946 in Texas geboren. Ze studeerde antropologie aan Radcliffe College. In 1975 promoveerde ze aan Harvard University op een sociobiologische gedragstudie van apen. Tot 1996 was ze hoogleraar in het Anthropology Department van de University of California in Davis. Ze woont in San Francisco.

pas in de jaren 1960 goed op gang komen. Maar het groepsleven van de mantelbavianen was al eerder bestudeerd. Deze aap leefde bovendien in de savanne, en volgens Washburn was zijn gedrag daarom vergelijkbaar met dat van vroege mensachtigen.

Bij mantelbavianen hadden de dominante mannetjes een harem die ze agressief bewaakten en verdedigden. De groepsdynamiek werd bepaald door de machtsverhoudingen tussen de volwassen mannetjes. De vrouwtjes volgden het dominante mannetje. Deze groepsstructuur was volgens Washburn ook het uitgangspunt geweest bij de overgang van aap naar mens. Hij had als vanzelfsprekend aangenomen dat de mannetjes de hoofdrol waren blijven spelen, tot op de dag van vandaag.

Hrdy betwijfelde of dit bavianenmodel wel van toepassing was op de mens. Nieuwe apenstudies lieten ook heel andere groepsverhoudingen zien. Haremvorming en mannelijke dominantie waren bepaald niet standaard. Bij andere bavianensoorten en bij chimpansees waren de verhoudingen tussen mannetjes en vrouwtjes bijvoorbeeld veel losser. Orang-oetangs vormden helemaal geen harem, en bij sommige apensoorten kwam een-op-een paarvorming voor. Ook de mate waarin de mannetjes de vrouwtjes domineerden kon sterk verschillen. Bij sommige paarvormende apen was zelfs het vrouwtje dominant. Hoe de verhoudingen bij vroege mensachtigen waren geweest, was dus helemaal niet zo vanzelfsprekend.

Washburn ging uit van een afwachtende, volgende vrouwenrol, zoals bij de mantelbavianen. De mannetjes hadden onderling een duidelijke rangorde, de vrouwtjes niet. En rangorde was bepalend voor de groepsstructuur. Maar ook hier lieten nieuwe veldstudies van apen allerlei andere mogelijkheden zien. Bij menige soort waren het juist de vrouwtjes

die de groepsstructuur bepaalden. Zij hadden een stabielere onderlinge rangorde dan de mannetjes. Als het dominante mannetje door een ander werd verdrongen, bleef de rangorde van de vrouwtjes intact. Mannetjes kwamen en gingen, hun onderlinge hiërarchie wisselde veel vaker en was niet kenmerkend voor de groep.

Vrouwtjes konden hun status in de groep bovendien doorgeven aan hun nakomelingen. Bij chimpansees bijvoorbeeld was de rangorde van dochters een afgeleide van die van hun moeder. En de zonen van hooggeplaatste vrouwtjes deden het in de mannenhiërarchie ook goed. Vrouwtjes hadden dus een wezenlijk aandeel in de verhoudingen binnen de groep, zelfs door de generaties heen. Meestal domineerden de mannetjes dan wel de vrouwtjes, maar die dominantie bepaalde niet de dynamiek van de gemeenschap. Alweer was het nog maar de vraag hoe het bij vroege mensachtigen was geweest. En was het niet ook voorbarig te stellen dat een activiteit van de mannen, de jacht, de allesbepalende factor was geweest voor de groepsverhoudingen?

Sociobiologie

Om beter zicht te krijgen op de rol van de vrouwen, bij apen en mensen, maakte Hrды gebruik van sociobiologische theorieën. De sociobiologie kwam op in de jaren 1970. De kern ervan was dat de evolutietheorie werd toegepast op de ontwikkeling van gedrag, niet alleen bij dieren maar ook bij mensen. Vooral het laatste was nieuw. Menselijk gedrag was tot dan toe gezien als een culturele kwestie. Dieren werden geregeerd door hun biologie. De mens had zich daarvan losgemaakt en gaf door cultuur zelf vorm aan zijn bestaan. De sociobiologie beweerde nu dat de menselijke cultuur diep verankerd was in de biologie. In de manier waarop mensen

zich gedroegen en met elkaar omgingen, weerspiegelde zich ons evolutionaire verleden. Voor menselijk gedrag ging hetzelfde op als voor diergedrag: het doel ervan was om overeind te blijven in de strijd om het bestaan en om je erfelijke eigenschappen, je genen dus, door te geven aan de volgende generatie.

Wat betekende dit in de praktijk? Mensen willen een goede maatschappelijke positie bereiken, gezonde kinderen op de wereld zetten en die kinderen een goede start geven. Dit streven kwam voort uit de menselijke biologie, stelde de sociobiologie. In wat voor cultuur je ook leefde, alles draaide uiteindelijk om een hoge sociale rangorde (maatschappelijke positie) en om succesvolle voortplanting (gezonde kinderen). Net als bij onze apenvoorouders dus. Maatschappelijk succes was zo gezien niet fundamenteel verschillend van evolutionair succes. Wilde je menselijk gedrag begrijpen, zei de sociobioloog, dan moest je het consequent tegen zijn evolutionaire achtergrond zien.

Volgens Hrdy was het, sociobiologisch gesproken, voor mannelijke en vrouwelijke individuen even belangrijk om succesvol te zijn. Beiden probeerden ze hun genen zo goed mogelijk door te geven aan de volgende generatie, en voor beiden was het daarbij voordelig een hoge plaats in de (maatschappelijke) rangorde te bezetten. Dit klinkt misschien niet zo opzienbarend, maar het was toch een nieuw inzicht. Washburn was er nog van uitgegaan dat rangorde en voortplanting veel meer invloed hadden op het gedrag van mannetjes dan op dat van vrouwtjes. Zijn redenering was als volgt.

Voor vrouwtjes is er een natuurlijk maximum aan het aantal kinderen dat ze kunnen krijgen en grootbrengen. Apen en mensen krijgen meestal maar één kind tegelijk. Pas wanneer dat kind zelf kan eten, kan de volgende spruit op stapel worden gezet. Vrouwtjes bereiken vanzelf hun maximale voort-

plantingssnelheid wanneer ze continu óf zwanger óf zogend zijn. Meer kinderen krijgen is fysiek onmogelijk. Mannetjes daarentegen kunnen er een hele harem op nahouden. En hoe dominanter ze zijn, des te groter hun harem. Voor vrouwtjes is rangorde van weinig belang als het om nakomelingen gaat – ze krijgen die nakomelingen toch wel. Maar voor mannetjes is het aantal nakomelingen dat ze kunnen verwekken direct afhankelijk van hun rang.

Hrды maakte er haar levenswerk van om aan te tonen dat Washburns visie te simpel was.

De strategische vrouw

De rangorde van vrouwtjes was volgens Hrды wel degelijk belangrijk. Een wel heel sprekend voorbeeld leverde het Zuid-Amerikaanse leeuwaapje. In groepen van deze dieren is er altijd maar één paartje dat zich voortplant. Het dominante vrouwtje onderdrukt namelijk de vruchtbaarheid van alle andere vrouwtjes in de groep. Een vrouwtje dat zich wil voortplanten moet dus zorgen in de top van de hiërarchie te komen. In dergelijke groepen zijn rangordegevechten tussen vrouwtjes dan ook niet ongewoon.

Ook om andere redenen bereiken vrouwelijke individuen hun maximale voortplantingssnelheid niet zomaar vanzelf. Om te beginnen komt dat door de levensomstandigheden. Die zijn zelden ideaal, en veel nakomelingen sterven voor ze volwassen zijn. Ook dit maakt het voor een vrouwtje belangrijk om een hoge positie in de groep te bezetten, want dan kan ze bijvoorbeeld meer voedsel opeisen. Vrouwtjes kunnen ook besluiten dat de omstandigheden te ongunstig zijn om een kind groot te brengen. Bij menige apensoort worden de jongen dan achtergelaten of gedood. Ook bij de mens komt dat voor, en niet alleen bij mensen die nog als jagers-verzame-

laars leven – denk alleen maar aan achterlating voor adoptie.

Bij apen worden jongen ook vaak gedood door zwervende mannetjes of door mannetjes die net het leiderschap van de groep hebben overgenomen. Zij zijn niet gebaat bij nakomelingen die ze niet zelf verwekt hebben. Ze willen de vrouwtjes in de groep zo snel mogelijk zelf bevruchten. Uit de tegenmaatregelen die de vrouwtjes hiertegen nemen, blijkt weer duidelijk hun actieve rol in de groep. Apenvrouwtjes proberen namelijk relaties aan te gaan met dergelijke potentieel gevaarlijke mannetjes. Wanneer ze de kans zien, paren ze met die mannetjes. De reden hiervoor is gemakkelijk in te zien. Wanneer een mannetje de baas wordt in een groep, zal hij geen nakomelingen doden die hij mogelijk zelf verwekt heeft. Veldstudies tonen aan dat nieuwe leiders inderdaad goed weten met welke vrouwtjes ze al gepaard hebben: ze laten de nakomelingen van deze vrouwtjes ongemoeid.

Bij de vroege mensachtigen zou iets soortgelijks kunnen spelen. Volgens Washburn had het verdwijnen van de bronst bij mensachtigen te maken met de paarvorming. Door haar vruchtbare periode te 'verbergen' en door steeds seksueel ontvankelijk te zijn, bond de vrouw de man aan zich. De man kreeg zo grotere zekerheid over zijn vaderschap. Volgens Hrdy kon het wel eens precies omgekeerd zijn.

Om te beginnen was het lang niet zeker dat de vroege mens aan strikte paarbinding deed. In menige hedendaagse cultuur komt nog steeds polygamie voor. Voortdurende competitie tussen de mannen om de vrouwen, zoals bij menige apensoort, was ook bij de vroege mensachtigen goed denkbaar. Voor de vrouw bood het verdwijnen van de bronst in deze situatie groot voordeel. Het stelde haar namelijk in staat *onzekerheid* te scheppen over het vaderschap van haar kinderen. Alle mannen waarmee ze paarde, konden de vader van haar kinderen zijn. Wanneer ze precies vruchtbaar was, bleef

immers in het ongewisse. De bedoeling hiervan was weer dat toekomstige leiders haar kinderen welgezind zouden zijn. Vrouwen zetten hun seksualiteit zo dus op een heel strategische manier in.

De reactie hierop bij haremvormende apen was dat de dominante mannetjes hun vrouwtjes streng bewaakten. Maar dit zag je niet alleen bij apen. Volgens Hrdy verklaarde het ook bepaalde gebruiken in menselijke culturen, zoals de strikte isolering van haremvrouwen, het taboe op het verlies van maagdelijkheid voor het huwelijk, kuisheidsgordels, de vrouwenbesnijdenis, enzovoort. Dergelijke culturele gebruiken hadden dus biologische wortels.

Ook bij de zorg voor de nakomelingen gingen vrouwen volgens Hrdy strategische allianties aan. Het grootbrengen van kinderen kostte enorm veel tijd en energie. Vrouwen hadden bovendien een dubbele taak: er moest ook voedsel verzameld worden. Dus was hulp onmisbaar. Bij de jagers-verzamelaars staan familieleden elkaar bij. Vooral grootmoeders verzetten veel werk. Dit kon verklaren dat de mens een van de heel weinige soorten is waarbij individuen die zelf te oud zijn om kinderen te krijgen, toch nog een behoorlijke levensverwachting hebben. Zo kunnen ze op de kinderen van hun kinderen passen.

Strategie was voor Hrdy steeds het sleutelwoord. Om de sociale gedragingen van onze voorouders en van onszelf te begrijpen, moest je kijken naar hun evolutionaire strategieën. De ontwikkeling van de jacht was een belangrijke fase in de evolutie. Maar je kon er niet uit afleiden hoe wij 'mens' waren geworden. Om menselijk gedrag te doorgronden, en de menselijke cultuur, moest je kijken naar de sociale rol van mannen én vrouwen. Hun (soms tegengestelde) belangen maakten ons tot wie wij zijn.

Man the hunter of Mother nature

Washburn en Hrdy verschilden dus hemelsbreed in hun visie op de sociale evolutie van de mens. Voor een deel zijn de verschillen te verklaren door de opkomst van veldstudies van apengedrag in de jaren 1960. Die leverden een vracht gegevens op die Hrdy en andere onderzoekers op nieuwe ideeën brachten. Ook de opkomst van de sociobiologie speelde een grote rol.

In Washburns tijd was er nog geen sociobiologie. Hij keek als het om evolutie ging vooral naar de groep. Nieuwe eigenschappen ontstonden omdat de groep er voordeel bij had. De strijd om het bestaan werd ook door de groep als geheel gevoerd, het belang van het individu was daaraan ondergeschikt. De ontwikkeling van de jacht beschouwde Washburn dan ook als 'goed voor de groep'. Hoe de veranderingen die dat meebracht voor individuen uitpakten, en vooral voor de vrouwen in de groep, daar besteedde hij geen aandacht aan.

Hrdy deed dat juist wel. Als sociobiologe ging ze ervan uit dat het individu centraal stond in de strijd om het bestaan. Elk individu probeerde zijn eigen kansen te maximaliseren. Dat kon tot samenwerking met andere individuen leiden, maar ook tot tegengestelde belangen. De vraag of een bepaalde evolutionaire verandering goed was voor de groep, speelde voor het individu geen rol. Groepsgedrag was dan ook alleen te verklaren door naar de belangen van de individuen in de groep te kijken. Groepsgedrag was de optelsom van de strategieën van de individuen.

Maar sociobiologie en apenstudies verklaren de verschillen tussen Washburn en Hrdy niet helemaal. In hun theorieën klinkt ook een andere visie door op mens en maatschappij. Washburn bestudeerde de mensachtigen als groep, maar hij had het hoofdzakelijk over mannen. Hij werkte in de jaren

1950, toen het nog heel gewoon was 'de mens' als een 'hij' te zien. Met *Man the hunter* bedoelde Washburn jagers-verzamelaars, mannen en vrouwen dus. Dit is taalgebruik dat wij tegenwoordig seksistisch vinden, maar in de jaren vijftig was het normaal.

Washburn dacht bovendien echt dat de mannen de centrale rol hadden in de menswording, en ook dat was in zijn tijd geen opzienbarende stelling. Mannen maakten de dienst uit in het openbare leven. Zij brachten brood op de plank, bedreven politiek en voerden oorlog. De vrouwen bleven thuis om te baren en voor de kinderen te zorgen. Het klassieke gezin was nog de hoeksteen van de samenleving. *Man the hunter* was met andere woorden een typisch product van de westerse mannenmaatschappij waarin Washburn leefde.

Hrdy op haar beurt ging uit van de sociobiologie, en dus van individuen. Mannen en vrouwen waren in het evolutieproces even belangrijk. Maar Hrdy had het toch hoofdzakelijk over de vrouwen. De reden laat zich raden. Hrdy was (en is) een gedreven feministe, en zij vond in de jaren 1970 dat er een inhaalslag moest worden gemaakt. Het aandeel van de vrouwtjes in de groepsdynamiek van sociale apen had tot dan toe veel te weinig aandacht gekregen, vond zij. Dat ook vrouwen die dynamiek bepaalden, was voor haar een uitgangspunt. Terwijl Washburn sprak over *Man the hunter*, gaf Hrdy een van haar boeken de titel *Mother nature*.

De combinatie van feministe en sociobiologe was overigens tamelijk bijzonder. Veel feministen in die tijd wezen de sociobiologie af. De verhoudingen tussen de menselijke seksen waren cultureel bepaald, vonden zij. De biologie had daar niets mee te maken. Sterker nog, het biologisch verklaren van menselijk gedrag leidde volgens feministen nu juist tot seksisme. Je kon dan bijvoorbeeld beweren dat vrouwen thuis *hoorden* te blijven, omdat dat nu eenmaal aansloot bij hun

biologische kenmerken. Dus waren feminisme en sociobiologie vaak elkaars vijanden.

Hrdy zag dat anders. Zij vond in de sociobiologie juist steun voor haar feminisme. Zo verdedigde zij bijvoorbeeld de keuze van moderne vrouwen voor werk én kinderen door te wijzen op de dubbele taak (zorg en voedsel verzamelen) van vrouwen bij de jagers-verzamelaars. In Washburns en Hrdy's visie op de menselijke evolutie vind je dus hun ideeën over de maatschappelijke positie van mannen en vrouwen terug.

Wetenschap en maatschappij

Er zaten meer maatschappelijke boodschappen in hun werk. Washburn sloot met zijn jagerstheorie aan bij de internationale politiek van de Verenigde Naties in de jaren 1950. Na de Tweede Wereldoorlog nam de VN nadrukkelijk afstand van racisme en nazisme. Vreedzaam samenleven was alleen mogelijk als alle mensen elkaar ondanks verschillen in cultuur als gelijkwaardig beschouwden. Dat was ook de grondslag voor de verklaring van de rechten van de mens uit 1948. Alle mensen hadden de plicht elkaars rechten te respecteren en beschermen. Rasverschillen waren onbelangrijk. De menselijke soort was variabel in lichaamskenmerken maar geestelijk was iedereen gelijkwaardig. In essentie was er eenheid, en daarom moest samenwerking van alle landen en volkeren het nieuwe devies zijn.

Washburns voorstelling van de oorsprong van de mens sloot hier perfect bij aan. *Man the hunter* verbond alle mensen. Want alle tegenwoordige mensen stamden van voorouderlijke jagers-verzamelaars af en hadden daardoor nog steeds dezelfde kenmerken. In ons gedrag waren wij nog steeds allemaal jagers en verzamelaars. De cultuurverschillen tussen rassen waren, evolutionair gesproken, heel kort geleden ont-

staan. Ze hadden geen biologische basis. De overeenkomst in biologie stond garant voor het universele menselijke vermogen tot overleg, samenwerking, taakverdeling en delen. *Man the hunter* stond, in Washburns eigen woorden, aan de basis van de *unity of mankind*.

De sociobiologische benadering van menselijk gedrag die in de jaren 1970 opkwam, brak met dit mensbeeld. Niet eenheid en samenwerking stonden voorop, maar de belangen van het individu. Individuen waren elkaars concurrenten, en in de strijd om het bestaan wonnen de sterkeren het van de zwakkeren. Competitie was het sleutelwoord, niet samenwerking. Want zelfs als er werd samengewerkt, ging het de individuen uiteindelijk toch om hun eigen voortplantingssucces. Zelfs tussen mannen en vrouwen binnen een groep bestonden belangentegenstellingen, zoals we hebben gezien.

Voor veel tegenstanders van de sociobiologie was deze invalshoek een typisch product van ultra-rechts politiek denken. De sociobiologie leek een rechtvaardiging van individualisme en kapitalisme: ieder voor zich en macht is recht. Nog erger was de suggestie dat het ook niet anders kón: zo was nu eenmaal de menselijke natuur. Volgens de tegenstanders zette de sociobiologie de deur open voor racisme en andere bedenkelijke ideologieën. Immers, als de biologie de basis was voor menselijke gedragingen, dan konden verschillen tussen culturen weer al te gemakkelijk aan biologische verschillen toegeschreven worden. Ook leek zo de ongelijke maatschappelijke positie van mannen en vrouwen gerechtvaardigd te worden.

Kortom, de sociobiologie werd afgeschilderd als het product van een onfrisse ideologie. Op Hrdy, zelf feministe, was deze kritiek niet helemaal toepasbaar, maar voor heel wat feministes waren ook haar opvattingen verwerpelijk.

De voorbeelden van Washburn en Hrdy laten zien dat wetenschappelijke theorieën niet in een vacuüm ontstaan. Ze

dragen de tekenen van de cultuur waarbinnen ze bedacht worden. Het is niet alleen dat de cultuur van een tijd invloed heeft op wetenschappelijke theorieën. Wetenschap is zelf onderdeel van de cultuur en heeft daarom invloed op hoe de cultuur eruit ziet. Washburns werk begrijp je beter tegen de achtergrond van de naoorlogse visie op de mens binnen de Verenigde Naties. Maar omgekeerd kreeg die mensvisie door Washburns jagerstheorie een wetenschappelijk fundament. Binnen de VN propageerde men de *unity of mankind* door op ons gemeenschappelijke jagersverleden te wijzen.

De wisselwerking tussen wetenschap en cultuur doet zich in eindeloos veel variaties voor. Niet altijd ligt het er zo dik bovenop als bij Washburn en Hrdy. Dat komt doordat onderzoekers hun uiterste best doen tijdloze kennis te produceren die onafhankelijk is van de cultuur. De evolutiebiologie van de mens is een nog jonge tak van wetenschap, en daar valt het onderzoekers nog niet mee kennis en cultuur te scheiden. Ook vanwege het onderwerp natuurlijk. Maar in wetenschapsgebieden met een lange traditie, zoals de natuurkunde, zijn de onderzoekers er gaandeweg erg goed in geworden hun werk een tijdloos voorkomen te geven. Aan hun theorieën en berekeningen zie je de cultuur van de tijd niet zo eenvoudig meer af. Maar dat wetenschap cultuurgebonden is, blijft toch altijd wel zichtbaar, al is het op een subtiele manier. Over vijftig of honderd jaar zullen historici er geen moeite mee hebben ook onze hedendaagse natuurkundige kennis 'in de tijd' te plaatsen.

Dat wetenschap mensenwerk is, maakt wetenschappelijke kennis niet meer of minder geldig. Wat onze theorieën waard zijn, moet blijken uit het bewijsmateriaal. Maar ook het verzamelen en beoordelen van bewijsmateriaal is weer mensenwerk. Of we zo ooit de waarheid bereiken? Misschien, maar we zullen nooit zeker weten dat we er zijn. Zeker is alleen dat zelfs ware kennis er zonder mensenwerk niet komt.

II

Epiloog

Hoe werkt wetenschap?

De wetenschappelijke methode

Hoe werkt wetenschap – dat was in het voorafgaande de centrale vraag. Geven de besproken voorbeelden het antwoord? Dat ligt eraan wat je verwachtte. Een recept dat met zekerheid tot een goed resultaat leidt, valt uit de voorbeelden niet te destilleren. Dat is misschien teleurstellend, maar toch ook een belangrijk inzicht. De wetenschap produceert kennis, maar het productieproces laat zich niet in kookboek-instructies vangen. Daarvoor is het te onvoorspelbaar.

In het verleden dachten wetenschappers dat er wél zo'n recept bestond: de wetenschappelijke methode. Dat was een onfeilbaar instrument waarmee de waarheid steeds dichterbij kon worden. Het is veelzeggend dat er altijd al verschil van mening is geweest over wat die methode inhield. Het recept had wel ingrediënten die steeds terugkwamen: je moest waarnemingen doen, een theorie bedenken, en experimenten uitvoeren om je theorie te testen. Maar verder overheersten de meningsverschillen. Wat kwam eerst: waarnemingen doen of een theorie bedenken? Hoeveel waarnemingen en experimenten had je nodig om zekerheid te krijgen? En als er een waarneming opdook die niet in de theorie paste, moest je je theorie dan aanpassen of opgeven?

Onze voorbeelden laten zien dat de praktijk zich in elk geval niet aan een vast recept houdt. De geschiedenis van de darwinvinken illustreert dat waarnemingen niet vanzelf tot kennis leiden. Ze krijgen pas betekenis als er een wisselwerking is met een theorie over die waarnemingen. Anders gezegd, waarnemingen moeten altijd worden geïnterpreteerd.

Ook bij Flemings toevalswaarneming van de werking van penicilline speelde zijn theoretische kennis als bacterioloog een rol. Daardoor was hij als het ware op die waarneming voorbereid. Maar er was ook een creatieve gedachtesprong nodig. Flemings verdienste was dat hij direct aan de mogelijkheid van geneeskundige toepassing dacht. Zonder creativiteit geen wetenschap, en creativiteit kent geen regels.

Waar mogelijk toetst een onderzoekster haar theorie aan de hand van nieuwe waarnemingen. Bijvoorbeeld door middel van een experiment. Als experimenten een theorie niet steunen, heeft die theorie een probleem. Maar experimentele resultaten zijn 'uitgelokte waarnemingen'. En waarnemingen moeten worden geïnterpreteerd. Als een experiment uitkomsten geeft die tegen een gevestigde theorie ingaan, dan heeft soms juist het experiment een probleem. Dat liet het voorbeeld van de 'telepathische' proefpersonen zien. De uitkomst van een experiment wordt niet in isolatie beoordeeld, maar tegen de achtergrond van bestaande kennis.

Bij deze beoordeling wordt niet alleen over het experimentele resultaat gedebatteerd. Ook het experiment zelf en de experimentator kunnen in de discussie betrokken worden. Denk maar aan het experiment met zwaartekrachtgolven. Was dit experiment wel goed uitgevoerd? Was de experimentator competent? Stond zijn laboratorium goed aangeschreven?

Volgens het boekje zijn experimenten bedoeld om over de bruikbaarheid van een theorie te beslissen. Ze moeten het

'bewijs' leveren dat de theorie deugt. Zolang experimenten niet tegen onze verwachtingen ingaan, gaat dat betrekkelijk probleemloos. De meeste experimenten die wetenschappers doen, leiden niet tot heftige discussies. Maar juist als het spannend wordt, dat wil zeggen als de meningen verdeeld zijn, kan de bewijskracht van experimenten op allerlei manieren aangevochten worden. Een experiment geldt pas als bewijs voor een theorie als de betrokken onderzoekers het erover eens zijn dat het als bewijs geldt. Niet experimenten hebben dus het laatste woord, maar de onderzoekers.

Er bestaat geen keurige procedure die tot kennis leidt zonder dat over elke stap in de procedure discussie kan ontstaan. Het eindproduct van wetenschap is kennis, maar die kennis wordt niet gegarandeerd door een onfeilbare methode. Kennis is dat wat er overeind is gebleven nadat de discussie gesloten is.

Kennis die de uitkomst is van een discussie, moeten we die wel serieus nemen? Jazeker, want beter hebben we niet. Wetenschappers kunnen geen garantie bieden voor de geldigheid van hun kennis. Zelfs als ze de waarheid te pakken hebben, kunnen ze dat niet zeker weten. Want ook daar is geen methode voor. Wat wetenschappers wel te bieden hebben, is hun beste kunnen en hun beste weten op dat moment. Hun discussies laten zien dat ze bij twijfel niet over één nacht ijs gaan. Ze controleren elk onderdeel van hun proeven nauwkeurig. Ze wikken en wegen. Ze argumenteren op het scherpst van de snede om tot eensgezindheid te komen. Wie meer wil dan de eensgezindheid van wetenschappers moet zijn vertrouwen in de wetenschap opzeggen.

Omgekeerd: blind vertrouwen is ook niet op zijn plaats. Wetenschappers zijn ook maar mensen. Ze kunnen fouten maken, oneigenlijke argumenten hanteren, of de zaken mooier voorstellen dan ze zijn. Zelfs een groot wetenschapper als Pasteur was bepaald geen heilige.

Ambachtelijkheid

Er is dus geen onfeilbare wetenschappelijke methode. Kun je desondanks niet zeggen dat wetenschappers een unieke manier hebben gevonden om de natuur te doorgronden? Verschilt hun werkwijze niet fundamenteel van hoe niet-wetenschappers met de wereld omgaan? En geeft dit de kennis die zij produceren niet een unieke status? Drie voorbeelden van niet-wetenschappelijke kennisverwerving:

(1) Als mijn auto niet wil starten, gebruik ik theorieën, waarnemingen en experimenten om het euvel te verhelpen. Als het brandstoflampje oplicht (waarneming), haal ik mijn jerrycan met benzine en vul de tank bij (experiment). Helpt dat niet, dan denk ik aan de accu, zeker als het erg koud is (theorie). Ik probeer de motor met behulp van accuklemmen weer aan de praat te krijgen (experiment). Als dat ook niet helpt, denk ik aan iets ingewikkelds (theorie) en bel de garage.

(2) Als kind kreeg ik spruitjes op mijn bord (experiment). De bittere smaak (waarneming) leerde mij dat spruitjes niet geschikt zijn als voedingsmiddel (theorie). Ik wilde ze dus niet meer eten. Tien jaar later zette mijn tante me spruitjes voor en ik durfde niet te weigeren. Maar de bitterheid bleek nu ineens een interessante smaakervaring (waarneming). Spruitjes werden mijn favoriete groente (verwerping oude theorie).

(3) Uren zit ik bij de telefoon te wachten. Ze had beloofd te bellen. Als ze van me houdt, zál ze ook bellen (theorie). Maar ze belt niet (waarneming). Dus ben ik in zak en as: ze houdt niet van me (conclusie). (Twee dagen later belt ze alsnog; ze was mijn nummer kwijt.)

De manier waarop ik mijn huis-, tuin- en keukenproblemen

aanpak, verschilt niet essentieel van de manier waarop wetenschappers hun vraagstukken aanpakken. De zogenaamde wetenschappelijke methode is in feite een mooie naam voor het feilbare probleemoplossend vermogen dat alle mensen eigen is.

Natuurlijk is er wel verschil tussen mijn alledaagse geklun- gel en wetenschappelijk onderzoek. De wetenschapper is een expert, een specialist, die er zijn beroep van heeft gemaakt de vragen te beantwoorden die de natuur oproept. Hij pakt de zaken systematisch aan en probeert voorbarige conclusies (zoals ik die bij de telefoon trok) te vermijden. Net als mijn automonteur heeft hij een toegespitste opleiding achter de rug. Hij kent door zijn ervaring de kneepjes van het vak.

Wetenschap vergt vakmanschap. Toen hij Joule's experiment probeerde te herhalen, ondervond Sibus dat zo'n her- haling alleen was weggelegd voor een getrainde experimenta- tor. En het succes van Morgans kruisingsproeven was vooral te danken aan het vernuft waarmee hij het wilde fruitvliegje ombouwde tot een laboratoriuminstrument.

Overduidelijk blijkt het belang van praktische vaardigheid bij het ontwikkelen van toepassingen. Fleming 'ontdekte' de werking van penicilline, maar het kant-en-klare geneesmid- del werd door anderen ontwikkeld. Fleming zelf haakte na een paar tegenslagen af. Diesel zette langer door, maar niet lang genoeg. Toen zijn motor klaar was, begonnen de proble- men pas echt. Deze voorbeelden laten ook zien dat 'uitvin- den' en 'ontdekken' processen zijn, niet één gebeurtenis.

Als we het over de dieselmotor hebben of over penicilline, spreken we over 'toegepaste wetenschap'. Maar eigenlijk doet dit geen recht aan wat er bij de ontwikkeling van zulke pro- ducten allemaal komt kijken. Diesel begon met een weten- schappelijk idee, maar in de commerciële dieselmotor was van dat idee weinig terug te vinden. De belangrijkste eigen-

schappen van de motor ontstonden tijdens het lange ontwikkelingsproces. Fleming kreeg wel erg veel eer voor zijn wetenschappelijke aandeel in de 'ontdekking' van penicilline. Want het meeste werk ging zitten in de ontwikkeling van een bruikbaar geneesmiddel. Zonder het kunst- en vliegwerk van Florey en Chain was het niet gelukt.

Soms speelt specifieke kennis zelfs nauwelijks een rol. Donders' brillen waren niet 'wetenschappelijker' dan de brillen die je op de markt kon kopen. Donders had ook geen betere methode om iemand een bril aan te meten. Dat hij het toch beter deed dan de brillenverkopers op de markt, was te danken aan de hulpmiddelen die de wetenschap hem verschafte: statistische gegevens over oogafwijkingen, goede instrumenten en literatuur. Ook zonder dat zij nieuwe kennis levert, kan de wetenschap een machtige bondgenoot zijn.

Theorievorming

Wetenschap heeft ambachtelijke kanten, maar wetenschappers zijn geen technici of ingenieurs. Niet praktische toepassing is het hoofddoel van de wetenschap, maar kennis van de natuur. Het spreekt vanzelf dat ook wetenschappers zich bemoeien met maatschappelijke vraagstukken als de energievoorziening, de milieuproblematiek en de gezondheidszorg. Maar er blijft toch een taakverdeling. Wetenschappers richten zich meer op het verwerven van algemene kennis, technici en ingenieurs meer op de praktijk.

Wetenschappelijk onderzoekers kunnen zich ook bezighouden met vraagstukken waarvoor (nog) geen toepassingsmogelijkheden zijn. Wetenschappers willen begrijpen hoe de natuur in elkaar zit. Ze streven naar een samenhangend geheel van weten. Dit betekent dat er ook aandacht is voor theorievorming en voor de relaties tussen theorieën.

Dat een theorie die in de praktijk 'werkt' nog niet waar hoeft te zijn, zagen we bij Pasteur. Hij vond een vaccin tegen miltvuur, maar zijn verklaring voor de werking van het vaccin beschouwen wij als achterhaald. Pasteurs vaccin verlostte de Franse boeren van een akelig probleem. Hun schapen werden immuun voor miltvuur. Maar de wetenschappelijke onderzoekster is met dit positieve resultaat nog niet tevreden. Dat is zij pas als er een bevredigende verklaring voor de werking is gevonden. Die verklaring zoekt ze niet alleen uit nieuwsgierigheid. Het idee is dat verbeteringen in de theorievorming op den duur ook tot verbeteringen in de praktijk zullen leiden.

Theorievorming is dus een essentieel onderdeel van wetenschapsbeoefening. Hierbij is soms treffend te zien dat wetenschappelijk onderzoek niet losstaat van wat er in de maatschappij gebeurt. Washburns en Hrdy's ideeën over de menselijke evolutie weerspiegelden hun visie op de moderne mens. Die visie was geïnspireerd door politieke en sociale ontwikkelingen die toentertijd actueel waren. Wetenschappers streven naar tijdloze theorieën. Maar net als iedereen zijn ze kinderen van hun tijd, en dat kan doorwerken in de theorieën die ze bedenken. Ook dit maakt dat er geen garantie is dat hun kennis de tand des tijds zal doorstaan.

Deskundigen

In hun rol als deskundigen op allerlei maatschappelijke terreinen zijn wetenschappers niet meer weg te denken uit de moderne samenleving. Ooit gold de wetenschappelijk deskundige als dé autoriteit. Hij sprak met het gezag van de wetenschap en had daarom het laatste woord. Tegenwoordig is de autoriteit van de deskundige niet meer zo vanzelfsprekend. Soms worden deskundigen zelfs gewantrouwd.

Vooropgesteld: wij stellen nog steeds veel vertrouwen in de deskundigheid van wetenschappers. Dat roken longkanker kan veroorzaken, of dat een mens niet zonder vitamines kan, nemen wij op gezag van de wetenschap aan. De bewijzen zijn zo overtuigend dat wij zulke kennis als 'waar' beschouwen. De meeste mensen hebben ook vertrouwen in allerlei kennis die in toepassingen is verwerkt, zoals vliegtuigen, medische apparatuur of voedingsmiddelen.

Kwesties waarbij het ingewikkelder ligt, trekken natuurlijk veel meer de aandacht. Als er geen eensgezindheid is, verdamppt de autoriteit van de wetenschap. Zijn gasboringen in de Waddenzee toelaatbaar? Zijn genetisch gemodificeerde organismen veilig? Moeten we iets aan het broeikas-effect doen? Hier spreekt de wetenschap niet meer met één stem. Wie moet je dan geloven?

Als niet-deskundige hoef je niet de illusie te hebben het beter te weten dan de experts. Zij zijn ervoor opgeleid en zij hebben toegang tot de relevante informatie. Maar wat als de experts het onderling niet eens zijn? Vooral in zulke situaties is het nuttig te weten hoe wetenschap werkt. Wetenschap geeft geen absolute zekerheid, dat is één. Juist die onzekerheid maakt het mogelijk dat wetenschappers uit verschillende kampen een verschillend geluid laten horen.

Twee: wetenschappelijke gegevens worden nooit in isolatie beoordeeld. Ze worden geïnterpreteerd tegen de achtergrond van bestaande theorieën. En deze theorieën zijn niet tijdloos. De wetenschappers die ermee werken zijn mensen, en zij maken deel uit van maatschappelijke verbanden. Die verbanden weerspiegelen zich in hun interpretatie van de gegevens.

Bij onderzoek naar de effectiviteit van geneesmiddelen maakt het bijvoorbeeld verschil wie dat onderzoek betaalt. Wetenschappers die voor de farmaceutische industrie werken, neigen tot een positiever oordeel over de producten die

deze industrie voortbrengt dan onafhankelijke onderzoekers. (Daarom moeten geneesmiddelenonderzoekers in hun publicaties vermelden door wie ze betaald zijn.) Gasboringen bedreigen de Waddenzee, beweren de wetenschappers van een milieuorganisatie. Onzin, zeggen de onderzoekers van een oliemaatschappij. De klimaatverandering kan op een ramp uitlopen, beweren de deskundigen van een politieke partij. Het bewijs daarvoor is flinterdun, zeggen de experts van een andere partij.

Als de deskundigen het al niet eens zijn, hoe kunnen wij dan nog op een verstandige manier onze stem laten horen en meebeslissen over toekomstige ontwikkelingen? De wetenschap spreekt in dit soort gevallen niet het verlossende woord, dat is duidelijk. Maar wij kunnen ons wel rekenschap geven van de belangen die meespelen. Zo ligt het voor de hand dat je meer waarde hecht aan onafhankelijk onderzoek dan aan onderzoek dat door belanghebbenden is uitgevoerd. Verder geldt voor onszelf even goed dat ons oordeel afhangt van onze belangen. Wetenschappers maken keuzes, voor het ene kamp of voor het andere. Dat doen ze niet alleen als deskundigen, maar ook als mensen. Wij allemaal moeten voortdurend keuzes maken en beslissingen nemen. Behalve door wetenschappelijke informatie laten we ons daarbij leiden door onze politieke overtuiging, of door ons geloof, of ons toekomstbeeld. Voor wetenschappelijke informatie kunnen we bij deskundigen terecht. Maar om keuzes te kunnen maken, moeten we ook bij onszelf te rade gaan. Het eindoordeel is aan ons.

Verantwoording

Op een enkel voorbeeld na (Donders' bril) pretendeer ik in dit boek geen originele historische inzichten te presenteren. Ik ontleen mijn voorbeelden aan de bestaande vakliteratuur. De voornaamste bronnen zijn hieronder te vinden. Bij elk hoofdstuk noem ik als eerste een bron die ook geschikt is voor 'verder lezen'.

Een belangrijke bron van inspiratie voor de aanpak die ik heb gevolgd, waren twee boeken van Harry Collins en Trevor Pinch: *The Golem. What you should know about science* (2e druk, Cambridge: Cambridge University Press, 1998) en *The Golem at large. What you should know about technology* (Cambridge: Cambridge University Press, 1998). Deze boeken zijn ook een aanrader voor wie meer voorbeelden wil van 'kennis in de maak'.

Bronnen

2 Flemings penicilline

Gwyn Macfarlane, *Alexander Fleming, the man and the myth* (Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1984).

Gwyn Macfarlane, *Howard Florey, the making of a great scientist* (Oxford: Oxford University Press, 1980).

John Parascandola (red.), *The history of antibiotics: a symposium* (Madison, Wisconsin: American Institute of the History of Pharmacy, 1980).

3 Darwins vinken

- Jonathan Weiner, *The beak of the finch: a story of evolution in our time* (Londen: Jonathan Cape, 1994).
- Frank J. Sulloway, 'Darwin and his finches. The evolution of a legend', *History of Biology* 15 (1982) 1-54.
- Peter R. Grant, *Ecology and evolution of Darwin's finches* (2e druk, Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1999).
- Charles Robert Darwin, *Over het ontstaan van soorten: door middel van natuurlijke selectie, of het behoud van bevoordeelde rassen in de strijd om het leven* (2e druk, Amsterdam: Nieuwezijds, 2001).

4 Joule's meetkunst

- Heinz Otto Sibum, 'Experimental history of science', in Svante Lindqvist (red.), *Museums of modern science* (Canton, Massachusetts : Science History Publications, 2000) 77-86.
- Donald S.L. Cardwell, *James Joule : a biography* (Manchester: Manchester University Press, 1989).
- Heinz Otto Sibum, 'Reworking the mechanical value of heat: instruments of precision and gestures of accuracy in early Victorian England', *Studies in History and Philosophy of Science* part A, 26 (1995) 73-106.

5 Diesels droom

- Donald E. Thomas, *Diesel: technology and society in industrial Germany* (Tuscaloosa, Alabama: The University of Alabama Press, 1987).
- E. Diesel, *Diesel, Der Mensch, das Werk, das Schicksal* (München, Wilhelm Heine, 1983).
- L. Bryant, 'The development of the Diesel engine', *Technology and Culture* 17 (1976) 432-446.

6 Wie gelooft er in telepatie?

- H.M. Collins, *Changing order. Replication and induction in scientific practice* (Londen: Sage, 1985).

Harry Collins en Trevor Pinch: *The Golem. What you should know about science* (2e druk, Cambridge: Cambridge University Press, 1998).

P.C.W. Davies, *The search for gravity waves* (Cambridge: Cambridge University Press, 1980).

7 Donders' wetenschappelijke bril

F. P. Fischer en G. ten Doesschate, *Franciscus Cornelis Donders* (Assen: Van Gorcum, 1958).

B. Theunissen, *'Nut en nog eens nut'. Wetenschapsbeelden van Nederlandse natuuronderzoekers, 1800-1900* (Hilversum: Verloren, 2000).

8 Morgans fruitvliegen

Robert E. Kohler, *Lords of the fly: Drosophila genetics and the experimental life* (Chicago: University of Chicago Press, 1994).

Garland E. Allen, *Thomas Hunt Morgan: the man and his science* (Princeton, New Jersey : Princeton U.P., 1978).

9 Pasteurs geheim

Gerald L. Geison, *The private science of Louis Pasteur* (Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1995).

Patrice Debré, *Louis Pasteur* (Baltimore: The Johns Hopkins University, 1998).

Max Perutz, 'The pioneer defended', *New York Review of Books*, 21 december 1995, 54-58.

10 Twee keer van aap tot mens

Sarah B. Hrdy, *Moederschap: een natuurlijke geschiedenis* (Utrecht: Het Spectrum, 2000). (Vertaling van *Mother nature. A history of mothers, infants, and natural selection* (New York: Pantheon Books, 1999).)

Donna Haraway, *Primate visions. Gender, race, and nature in the world of modern science* (New York: Routledge, 1989).

Sarah B. Hrdy, *The woman that never evolved* (2e druk, Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1999).

Richard B. Lee en Irven Devore (red.), *Man the hunter* (Chicago: Aldine, 1968).

Illustraties

De uitgever heeft de rechthebbenden van de illustraties voor zover bekend verzocht om toestemming tot publicatie. Wie meent rechten te kunnen doen gelden op afbeeldingen in dit boek wordt verzocht contact op te nemen met Uitgeverij Nieuwezijds.

- 2.1 Uit: Jean-Charles Sournia, *The Illustrated History of Medicine* (Londen: Harold Stark, 1992).
- 3.1 Foto: Herbert Rose Barraud, 1881.
- 3.2 Uit: *The Zoology of the Voyage of H.M.S. Beagle during the Years 1832-1836*, edited by Charles Darwin (London: Smith Elder, 1839-1843) Vol. 2, Part 3, *Birds*, door John Gould.
- 4.1 Foto uit de archieven van de Wellcome Trust.
- 4.2 Uit: James Prescott Joule, 'On the mechanical equivalent of heat', *Philosophical Transactions* 1850, dl. 1 herdrukt in *The Scientific Papers*, dl. 1. Londen, 1884, 298-328.
- 4.3 Uit: Heinz Otto Sibum, 'Reworking the mechanical value of heat: instruments of precision and gestures of accuracy in early Victorian England', *Studies in History and Philosophy of Science* part A, 26 (1995) 73-106, © 1995, met toestemming van Elsevier.
- 5.1 Uit: Morton Grosser, *Diesel. The man and the engine* (New York: Atheneum, 1978).
- 6.1 Uit: P.C.W. Davies, *The search for gravity waves* (Cambridge: Cambridge University Press, 1980) 115.
- 7.1 Foto: Jac P. Stolp, Copyright © Universiteitsmuseum Utrecht.

- 8.1 Foto uit het Archief Hugo de Vries, Bibliotheek Biologisch Centrum, Universiteit van Amsterdam.
- 9.1 Uit: Fr. Bournand, *Pasteur, sa vie, son oeuvre: un bienfaiteur de l'humanité* (Parijs: Tolra, 1896).
- 10.1 Uit: Irvén Devore, 'An interview with Sherwood Washburn', *Current Anthropology*, 33/4 (1992) 411.
- 10.2 Foto: Jerry Bauer.