



Universiteit
Leiden

The Netherlands

Over natuurkunde en de respons van de samenleving

Berends, F.A.

Citation

Berends, F. A. (2003). Over natuurkunde en de respons van de samenleving. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/5263>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Leiden University Non-exclusive license](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/5263>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Over natuurkunde en de respons van de samenleving

Rede uitgesproken door

Prof.dr. F.A. Berends

bij zijn afscheid als hoogleraar Theoretische Natuurkunde
aan de Universiteit Leiden op 28 november 2003.

Mijnheer de Decaan,
Mijnheer de Directeur van het Leids Instituut voor Onderzoek in de Natuurkunde,
Zeer gewaardeerde toehoorders,

Het zwaartepunt van dit college ligt bij een groot aantal voorbeelden. Om nu de kritische massa van nog net te verteren stof niet te overschrijden, zal ik bijtijds de stekker uit mijn betoog trekken. Zojuist heb ik drie keer een term uit de natuurkunde of erop gebaseerde techniek in figuurlijke zin gebruikt. Die termen komen uit verschillende gebieden en perioden.

Het begrip zwaartepunt ofwel centrum gravitatis stamt uit de Oudheid en werd ruim vierhonderd jaar geleden door Stevin als swaerheydtsmiddelpunt vertaald [1]. Een stekker werd nodig toen elektrische stroom beschikbaar kwam. Vanaf 1800 was dat het geval, eerst door Volta's uitvinding van de batterij en later door Faraday's dynamo. Tenslotte, kritische massa is een concept uit de kernfysica. Met een kritische massa uranium werd in 1942 door de naar de VS uitgeweken Fermi de eerste beheerste nucleaire kettingreactie tot stand gebracht.

Er bestaan meer van deze figuurlijke fysicatermen, zoals polarisatie, quantum sprong, uitkristalliseren, kortsluiten of zwart gat. Ze vormen een respons van de samenleving op de natuurkunde. Taalgebruik als precieze maat voor de invloed van de natuurkunde lijkt me minder geschikt, want dan zou bijvoorbeeld de scheepvaart vele malen hoger scoren. Hoe dit ook zij, we weten dat de invloed van de natuurkunde of algemener de natuurwetenschappen op de samenleving enorm is. Op ons denken en ons bestaan. Zo groot, dat dit als vanzelfsprekend wordt ervaren. Om die ongefundeerde vanzelfsprekendheid even te doorbreken, begin ik met een korte rondgang door het dagelijkse leven, waar sporen van de natuurkunde uit verschillende eeuwen te herkennen zijn.

Toen u vanochtend vroeg keek hoe laat het was, deed u dat waarschijnlijk niet op een slingeruurwerk van Huygens maar op een kwartsklokje, gebaseerd op het verschijnsel van piezo-elektriciteit, ruim honderd jaar geleden ontdekt door de gebroeders Curie. Honderd jaar geleden zou u dan het vuur in de haard of kachel hebben moeten oprakelen, maar nu zorgt de thermostaat daarvoor. Wat warmte en temperatuur zijn, heeft de natuurkunde uiteindelijk in de 19e eeuw vastgesteld. Die kennis speelt ook een rol als voedsel gekoeld of bevroren bewaard wordt. Andere natuurkundige kennis, die van moleculen en elektromagnetische golven, wordt toegepast als we dat voedsel weer opwarmen in een magnetron. Elektromagnetische golven worden eveneens benut als we de radio of mobiele telefoon aanzetten. Fysisch onderscheiden zich die golven niet van elkaar, ze hebben slechts een andere frequentie. Economisch is het verschil echter groot, want de ene frequentie wordt wel en de andere niet geveild.

Voor al die elektrische apparatuur betalen we een energierekening, die de gebruikte kilowatturen aangeeft. Dat begrip energie kent een lange voorgeschiedenis. Concepten uit diverse gebieden, zoals warmte of massa, bleken vormen van het ene begrip energie te zijn. Zo geeft voedsel ons energie, doorgaans in calorieën en niet in kilowatt-

uren uitgedrukt. Per etmaal hebben we ongeveer drie kilowatturen nodig, voldoende om ons voort te bewegen of een auto te besturen. Die auto op zijn beurt beweegt, als we tijtjds de energiebron aanvullen. Dan tanken we bijvoorbeeld 37,25 liter.

Over die meterstand is iets op te merken, waar we zelden bij stilstaan. Er staat komma 25 en niet een vierde, wat 400 jaar geleden normaal geweest zou zijn. Toen waren er slechts enkelingen, die het voordeel ervan inzagen alleen tiendelige en geen willekeurige breuken te gebruiken. Stevin wordt beschouwd als degene, die het gebruik invoerde. In zijn boek "de Thiende" [2] demonstreerde hij namelijk het gemak van decimale breuken aan de hand van dagelijkse voorbeelden. Hij bepleitte ook een herziening van maten en gewichten tot een decimaal stelsel, maar zag in, dat daar politieke wil voor nodig was.

Die was er pas 200 jaar later in de Franse Assemblee. Neutrale en met Frankrijk geallieerde landen werden uitgenodigd wetenschappers naar Parijs af te vaardigen om met Franse collegae een commissie van maten en gewichten te vormen. Van november 1798 tot juli 1799 duurde hun congres, waar ondermeer al eerder gedane lengtemetingen van een meridiaan geanalyseerd werden. Zo formuleerde dit eerste internationale wetenschappelijke congres het metrieke stelsel. Het eindverslag [3] werd geschreven door de wis- en natuurkundige Van Swinden, citoyen batave. Zo tankt u liters en geen gallons. Als u vervolgens met een pinpas betaalt, zitten we in de recente toepassingen van natuurwetenschappelijke kennis. De kunststof van de kaart, de magneetstrip, de computer met zijn netwerk hebben alle deel aan deze betalingswijze. De beveiliging van elektronisch verkeer berust vaak op getaltheorie. Dat is een tak van de wiskunde, waarvan de zuiverheid nooit door toepassingen bezoedeld zou worden. Althans in mijn studietijd werd dat nog gezegd.

Zonder nu ziekenhuizen, vliegvelden of bedrijven te bezoeken is het al duidelijk dat we de natuurkunde tegenwoordig niet zozeer in het vrije veld vinden, maar in de bebouwde kom. Dan moeten we wel de moeite nemen de ontstaansgeschiedenis van de gebruiksvriendelijke dingen om ons heen na te trekken. Die genealogie komt uiteindelijk uit bij fundamentele natuurwetenschappelijke kennis, die verworven is door onderzoekers, primair gedreven door nieuwsgierigheid en niet een mogelijke toepassing. Die blijkt desondanks te ontstaan dankzij de creativiteit van anderen. Het verwerven van kennis en de toepassing ervan vormen een wezenlijk kenmerk van onze cultuur. We zijn eraan gewend, zelfs door verwend en verwachten niet anders dan dat het proces doorgaat en nog versnelt. Zou echter ook hier kunnen gelden "Resultaten in het verleden behaald, bieden geen garantie voor de toekomst"?

Die vraag kan opkomen bij het teruglopend aantal scholieren, die vakken als wiskunde, natuurkunde, scheikunde of techniek gaan studeren. Bij de natuurkunde is de instroom sinds 1990 nagenoeg gehalveerd, gezien het succes van de natuurwetenschap een paradoxaal verschijnsel. Een fenomeen, dat in vele westerse landen in enigerlei vorm optreedt en geleidelijk aan een probleem wordt voor diverse sectoren in de samenleving. Voor de universitaire onderzoeker, omdat getalenteerde studenten voor onderzoek schaars worden. Voor de universiteiten, omdat het onderwijs aangepast

moet worden aan een kleiner aantal studenten en geringere middelen. Voor de technisch georiënteerde bedrijven, omdat het aanbod van experts terugloopt, wat de innovatie in gevaar brengt. Maar eigenlijk ook voor de samenleving als geheel, omdat minder mensen kennis zullen hebben van de natuurwetenschappelijke denkwijze, toch een van de pijlers van de westerse cultuur.

De krimpende instroom is niet alleen een onderwerp van uitgebreide discussie geworden maar ook een object van onderzoek. Onderzoekscijfers lijken erop te wijzen dat de teruggang bij natuurkunde wordt veroorzaakt door een demografisch effect en door een verschuiving naar meer toegepaste harde-bètastudies [4].

Hoe dit ook zij, om weer terug te komen op de natuurkunde-instroom van 1990, zou nu een groter percentage bètascholieren dan in 1990 voor dat vak moeten kiezen. Meer zwevende studiekeizers zouden gewonnen moeten worden. Daarbij zijn allerlei belemmeringen. In discussies wordt dan vooral gewezen op de geringe belangstelling van de overheid voor onderwijs en onderzoek, de daarmee samenhangende toestand van het middelbare onderwijs, en het imago van de natuurkunde en de natuurkundige. Om afstand te nemen van de acute problematiek wil ik die belemmerende factoren in een breder perspectief plaatsen door middel van flash-backs naar een ver en recent verleden. Kortom, impressies van natuurkunde en de respons van de samenleving. Allereerst de houding van de autoriteiten. Vier voorbeelden van positieve belangstelling uit verschillende tijden.

Zo werd Stevin, uit Vlaanderen naar het noorden uitgeweken, adviseur van de stadhouder prins Maurits. Hij bracht de prins op de hoogte van de exacte wetenschappen. Volgens Stevin was die pas tevreden als hij had gezien wat de grond ergens van was, het wiskundig bewijs of als hijzelf een alternatieve oplossing voor een probleem had gevonden. Voor een docent de ideale leerling. Het lesmateriaal leidde tot een boek [5], dat zich eerder dan Galilei al uitsprak voor Copernicus' heliocentrische wereldbeeld. In praktische zin ontstond ook iets nieuws, een ingenieursschool aan deze universiteit, in opdracht van Maurits en met een curriculum door Stevin opgesteld.

Een tweede voorbeeld betreft de reactie op een belangrijke ontdekking als de batterij [6]. Wel, Napoleon nodigde Volta naar Parijs uit om in de Academie zijn vinding te demonstreren, kende hem een prijs toe en maakte hem later graaf en senator van het koninkrijk Italië. Bovendien stelde hij een prijs in voor baanbrekend onderzoek. Voor Volta moet dit alles een bijzondere ervaring geweest zijn, want vijf jaar tevoren was bij de inname van Pavia zijn laboratorium geplunderd door de Franse troepen van diezelfde Napoleon.

Voor het derde voorbeeld [7] terug naar Nederland, waar in 1863 de regering besloot een nieuw schooltype, de HBS in te voeren, dat vooral een praktische scholing beoogde. Het gymnasium bleef primair voor de universiteit opleiden. In de praktijk bleek echter dat de HBS scholieren stimuleerde universitaire exacte studies te kiezen.

Bovendien was de sociale drempel voor de HBS lager dan die voor het gymnasium, zodat nieuw talent de weg naar de universiteit vond. De natuurwetenschappen bloeiden op. Tussen 1901 en 1940 ontvingen acht Nederlanders een Nobelprijs in de

natuurwetenschappen, internationaal gezien een hoge score. Van hen hadden zeven de HBS doorlopen en een de MULO. De opbloei van de natuurwetenschappen aan het eind van de 19e eeuw wordt wel eens de tweede gouden eeuw genoemd.

Onmiskenbaar droegen een nieuwe hogeronderwijswet en een verdubbeling van de universitaire middelen daartoe bij. Kortom, namens de samenleving kan een democratische overheid een gunstige invloed uitoefenen zonder methoden van een Sovjet-Unie nodig te hebben.

Toch is er ook in die tijd een waarschuwend woord te horen [8] en wel van de hoogleraar scheikunde Van Bemmelen, overigens daarvóór HBS leraar met opmerkelijke leerlingen als Kamerlingh Onnes en Lorentz. Welnu, in 1889 spreekt hij, kort samengevat, als rector magnificus in een rede de wens uit, dat in Nederland “rijke lieden” het Amerikaanse voorbeeld zullen volgen aanzienlijke schenkingen aan universiteiten te doen. Er moet namelijk een gezond evenwicht komen tussen staatszorg en eigen middelen, omdat hij voorziet dat de staat niet voor drie rijksuniversiteiten aan de behoeften der wetenschap zal kunnen blijven voldoen. Als reactie werd toen weliswaar het Leids Universiteits Fonds opgericht, maar Van Bemmelen's doel is helaas nog steeds niet bereikt. Maar wie weet, misschien dringt ook dit aspect van de Amerikaanse cultuur in Nederland door.

Tenslotte het vierde voorbeeld van twaalf Europese regeringen, die vijftig jaar geleden de CERN conventie tekenden voor een gemeenschappelijk laboratorium voor elementaire-deeltjesfysica [9]. Daarmee gingen ze in op het voorstel van fysici en visio-naire bestuurders het Europese onderzoek te bundelen rond een grote deeltjesversneller. Een achterliggende gedachte was de brain drain naar de VS af te remmen. Eveneens zal de explosieve ontwikkeling van de kernfysica na Fermi's eerste nucleaire kettingreactie een rol hebben gespeeld. De locatiekeuze voor zo'n instelling is altijd moeizaam. Uiteindelijk bleven Arnhem en Genève als kandidaten over. Het werd Genève. CERN heeft inmiddels twintig lidstaten en is in feite uitgegroeid tot een werkelijk uniek wereldlaboratorium. Er werken nu meer Amerikaanse fysici op CERN dan Europese of Amerikaanse zusterlaboratoria [10].

Na de respons van de autoriteiten, de beeldvorming van de natuurwetenschap. Het imago van het vak en de beoefenaar is niet een recente kwestie, zoals blijkt uit de eerste autobiografie van een natuurwetenschapper. Die is in 1576 geschreven door Cardano. Hij had in zijn leven uitvindingen gedaan – de cardanas draagt zijn naam – en geneeskunde, wis- en natuurkunde beoefend. De keuze voor die vakken beargumenteert hij als volgt [11]. “De geneeskunde bezit over de hele wereld dezelfde geldigheid en in alle tijden; daarbij is deze wetenschap zuiverder en steunt zij op de rede en niet op toevallige menselijke opvattingen. Daarom heb ik mij hierop geworpen en niet op de rechtswetenschap, en vooral ook omdat rijkdom, macht en ereambten vrienden zijn wier gezelschap ik niet alleen versmaadde maar ook verre van mij hield. Maar toen mijn vader merkte dat ik de rechtenstudie liet varen om mij te wijden aan de natuurwetenschappen, barstte hij in tranen uit waar ik bij was; het greefde hem dat ik mij niet toelegde op hetzelfde vak als hij had gekozen. Hij meende namelijk, dat de

rechtswetenschap een nobeler wetenschap was, een vak dat geschikter was tot het verwerven van rijkdom en macht en bovendien om de familie hogerop te brengen in de maatschappij”.

In de opvattingen van vader en zoon komen de carrièremogelijkheden al ter sprake, die nog steeds een rol spelen, als de zwevende studiekeizer moet beslissen. Rechten wordt geassocieerd met duidelijke beroepen en als je die onaantrekkelijk vindt, kan je nog alle kanten op. Natuurkunde leidt niet op tot een specifiek beroep. Misschien word je onderzoeker, maar wat is dat en als dat tegenvalt, wat dan? De scholier kan wel gefascineerd raken door de spannende verhalen van de onderzoeker, maar wil zich niet voor altijd op onderzoek vastleggen. Wil niet in een fuik lopen. De vele loopbanen voor fysici zijn helaas voor de scholier niet zichtbaar. Daarom is het te hopen, dat het bedrijfsleven in zijn dit jaar gestarte acties [12] naar scholieren zal uitdragen, dat ook specialistische natuurwetenschappers kunnen uitgroeien tot generalisten in leidinggevende posities, zoals dat van juristen en economen al lang bekend is. Is er misschien ook hier een paradox: de sporen van de natuurwetenschap zijn duidelijk in de samenleving te herkennen, maar de natuurwetenschappers zelf nauwelijks. Zouden zij soms verre blijven van de door Cardano versmade vrienden?

Na de maatschappelijke perspectieven, nu het vermeende karakter van de natuurwetenschapper. Een mogelijk facet is al te raden uit Cardano's volgende opmerking [13]. “Ontdekkingen zijn te danken aan ongestoorde rust, een gestadig overpeinzen en niet in de laatste plaats aan ondervinding. Al die dingen horen tot het rijk van de eenzaamheid en niet de menselijke gezelligheid.” Tot zover Cardano. Dat dergelijke gewenste werkomstandigheden wel eens ongewoon gedrag in de hand kunnen werken is waar. Maar dat is geen regel volgens de letterkundige Van Lennep in 1824 in een lofrede op de wis- en natuurkundige Van Swinden. Ik citeer [14]. “Zeker zal ik nimmer instemmen met hen, die zich geen wiskundige weten voor te stellen zonder het bijkomend denkbeeld van onaangename stroefheid in de omgang, onbevallige droogheid in de voordracht, koude ongevoeligheid voor het kunstig en natuurlijk schoon. Ik weet, ik zag, ik zie teveel voorbeelden, die dit gevoelens wederspreken; en nooit is het misschien sterker wedersproken dan ... (door) Van Swinden.” Na dit citaat laat ik de kwestie van het imago van de beoefenaar maar verder rusten.

Nu het beeld, dat de natuurwetenschap zelf oproept. Zuiver is de natuurwetenschap, nobel de rechtsgeleerdheid, zegt Cardano. Toevallig kwam de aard van die vakken eerder dit jaar ter sprake in een evenwichtig interview [15] met de Leidse jurist Stolker. Die laat zich echter aan het eind twee opmerkingen ontvallen, die ik in een of andere vorm vaker heb gehoord. Nu ze op schrift staan benut ik de kans ze te citeren. “Soms denk ik van medisch of ander bètaonderzoek: ongetwijfeld is het methodisch en technisch in orde, maar wat een vreselijk onintellectuele onderzoeksvraag”. Vervolgens noemt Stolker een aantal belangwekkende juridische problemen, waarna volgt: “Dat is toch iets anders dan werken met een pipetje”. Einde van het citaat, dat een onjuist beeld kan geven of bevestigen en dus nuancering behoeft. Daarom nu het beeld van de natuurkunde, gezien door een fysicus, dus door een ervaringsdeskundige.

Natuurlijk is er oninteressant onderzoek, waar niet, maar een buitenstaander riskeert dit oordeel te snel te vellen. Dat komt door twee kenmerken van de natuurkunde, die sommigen minder aanspreken. Allereerst ontstaan de fraaie intellectuele inzichten als quantummechanica of speciale relativiteitstheorie niet uit het niets, maar bouwen voort op eerdere stappen. Sommige daarvan kunnen onbelangrijk lijken. Ten tweede is het gangbare woord intellectueel, dus op het verstand betrekking hebbend, niet hetzelfde als natuurkundig intellectueel, dat ik zou omschrijven als betrekking hebbend op het verstand en op de profondervindelijke observatie. Dat laatste betekent een vernuftig uitlokken van de natuur met instrumenten en het tegelijk doen van subtiele waarnemingen. Wat voor pipeteren bij de scheikunde of solderen bij de natuurkunde staat is dus essentieel. De gebruikte aanduidingen zouden als geuzenwoorden opgevat kunnen worden. Zuiver intellectuele natuurbeschouwingen bestaan al ruim twee millennia, maar pas in de zeventiende eeuw heeft het experimenteren met de natuur goed zijn beslag gekregen. Daarmee ontstond de moderne natuurwetenschap, een gedenkwaardig moment. Sindsdien worden verleidelijke intellectuele speculaties ingeperkt door experimentele feiten. Een illustratie van die ontwikkeling is de invoering van de experimentele natuurkunde aan deze universiteit, waarover recentelijk een analyse is verschenen [16]. Een flash-back:

In de zeventiende eeuw doceerden vaak dezelfde personen filosofie en natuurfilosofie, natuurkunde dus. Hun opvattingen botsten nogal eens met die van de theologen, wat weliswaar een levendig intellectueel debat opleverde, maar ook tot venijnige conflicten kon leiden. Om de rust te bewaren zagen curatoren zich bijvoorbeeld nog in 1676 genoodzaakt speculaties over de oneindigheid van het heelal te verbieden [17]. Dergelijke speculaties bouwden voort op Copernicus' heliocentrische wereldbeeld, ruim 130 jaar eerder gepubliceerd.

In deze conflictueuze situatie deed de hoogleraar natuurfilosofie, De Volder, curatoren het voorstel naast het theoretische college een nieuw college, experimentele natuurfilosofie, in te voeren. Hij vroeg een gebouw voor een *Theatrum Physicum* en een budget voor instrumenten. Kort tevoren was De Volder in Engeland geweest, waar de Royal Society publiekelijk experimenten uitvoerde. Zulke experimenten wilde hij als nieuwe onderwijsvorm introduceren, waarbij de experimenten niet zozeer als illustratie van theoretisch materiaal dienden, maar zouden fungeren als manier van redeneren, als bewijsvoering dus. Zo'n werkwijze zou zich duidelijk onderscheiden van de theologische aanpak en daarmee competentiekwesties vermijden.

Curatoren stemden binnen een paar maanden toe, stelden een gebouw ter beschikking en de middelen om een kabinet van fysische instrumenten in te richten. Daarmee was deze universiteit in 1675 een van de eerste met een college experimentele natuurfilosofie en zelfs de eerste met een eigen instrumentarium. Die instrumenten liet De Volder vervaardigen door Samuel van Musschenbroek, van oorsprong maker van ornamenten en gebruiksvoorwerpen als lampen. De Volder, zijn collegae en opvolgers bedachten experimenten, die de natuur in zulke situaties brachten, dat wetten en verschijnselen zichtbaar werden in het *Theatrum Physicum*. Daartoe ontwier-

pen zij allerlei instrumenten, bijvoorbeeld luchtpompen, die het mogelijk maakten natuurverschijnselen in het luchtledige waar te nemen.

Twee generaties Van Musschenbroek waren daarbij betrokken. Hun kleine familiebedrijf “de Oosterse lamp” werd een internationaal gerenommeerde producent van fysieke en medische instrumenten [18]. Een voorbeeld van spin-off, zouden we tegenwoordig zeggen. Trouwens, in de tweede generatie zien we ook iets anders. Een neef van Samuel, Petrus, werd namelijk hoogleraar natuurfilosofie. Rondom 1757 de meest geciteerde fysicus [19], bekend van de Leidse fles en zijn veel vertaald leerboek met achterin een catalogus van instrumenten, die bij zijn broer besteld konden worden. Die leverde niet alleen aan instellingen, maar ook aan particulieren, die zelf wilden experimenteren.

Nu is het *Theatrum Physicum* verdwenen, het begon daar, waar de dwarsgang van het Academiegebouw eindigt. Instrumenten zijn in musea te vinden. Hier is nog één werkstuk van Samuel te bewonderen, een ornament, de Minerva-windvaan op de toren van dit gebouw. Het pand van de “Oosterse lamp” bestaat nog steeds. Enige jaren geleden hebben de bestuurders van deze universiteit de gebouwen ernaast betrokken. Misschien worden zij nu nog sterker dan voorheen eraan herinnerd, dat natuurwetenschap instrumenten nodig heeft.

Sommige instrumenten zijn echter niet meer te bekostigen door één universiteit, zelfs niet door één land. Zeker geen grote deeltjesversnellers. De grootste is een cirkelvormig apparaat geweest met een omtrek van 27 kilometer. Van 1989 tot 2000 is deze large electron-positron versneller, ofwel LEP-versneller, bij CERN gebruikt. Nu maakt hij plaats voor een andere versneller in de ondergrondse tunnel. Een flash-back op LEP, zijn doel en gebruik geeft een uitvergroot beeld wat natuurkunde tegenwoordig kan inhouden.

Allereerst de motivatie. Het gaat om de beantwoording van vragen, waarvan de CERN-pioniers nog niet konden dromen. Pas na vele stappen ontstonden die. Toch werd de eerste stap al in 1896 gezet, toen Becquerel bij toeval β -radioactiviteit ontdekte. Kernen blijken uiteen te kunnen vallen onder uitzending van een elektron. Lange tijd een volstrekt mysterie. Pas met de speciale relativiteitstheorie en de quantummechanica kon in 1933 Fermi een opmerkelijke eerste aanzet tot een theorie geven. Uit een langdurig maar fascinerend vraag- en antwoordspel tussen theorie en experiment ontstond rond 1970 een afgeronde theorie. Die voorspelt, dat de radioactieve krachten het bestaan impliceren van een paar kortlevende zware deeltjes: het geladen *W*-deeltje en het neutrale *Z*-deeltje, ongeveer honderd keer zwaarder dan het proton. Toen kon de hamvraag gesteld worden of die deeltjes met de voorspelde eigenschappen bestaan. Voor een precies antwoord zou een groot aantal deeltjes bestudeerd moeten worden.

Nu komt de LEP-versneller in beeld. Die gewenste deeltjes komen niet zomaar in de natuur voor, ze moeten eerst gemaakt worden, maar hoe? Het kan in de extreme omstandigheden van frontale botsingen tussen negatief geladen elektronen en positieve positronen. Bij hoge snelheden is er voldoende energie om de massa van de *W*- en

Z-deeltjes te creëren. We zoeken een instrument, dat elektronen en positronen rondjes in tegengestelde richting laat lopen, hun snelheid tot bijna de lichtsnelheid opvoert en ze vervolgens frontaal laat botsen, hoe minuscule ze ook mogen zijn. Dat instrument werd LEP, dat de versnellerfysici konden bouwen omdat ze sinds 1960 hun expertise met kleinere versnellers vergroot hadden.

De gemaakte W- en Z-deeltjes moeten dan geobserveerd worden. Omdat ze onmiddellijk in langer levende lichtere deeltjes uiteenvallen, worden alleen die waargenomen. Rond de botsingsplekken zijn daartoe gigantische detectoren opgesteld. De reconstructie van de W- en Z-deeltjes uit hun vervalproducten geschiedt met computerprogramma's waarbij bijvoorbeeld de botsing, de creatie van W- en Z-deeltjes en hun uiteenvallen in lichtere deeltjes worden gesimuleerd. Ook hier bouwt men stapsgewijs voort op vroegere ervaring. Voor mijzelf gaat de onderzoekservaring met de theoretische beschrijving van de creatie van W-deeltjes terug tot 1969, waartoe de omgeving van een nieuwe Amerikaanse versneller mij inspireerde.

Tenslotte de uiteindelijke vergelijking van experiment en theorie. Die theorie kan zeer nauwkeurige voorspellingen doen dankzij de methoden en technieken van de Nobellaureaten 't Hooft en Veltman. Door de inspanningen van velen zijn die berekeningen ook beschikbaar. Indrukwekkend is tenslotte de overeenstemming met het experiment. De hoofdrolspelers van de radioactieve krachten zijn daarmee onderzocht en gezond bevonden. Het aantal onderzochte Z-deeltjes imponeert: 18 miljoen. In de elementaire-deeltjestheorie is er nu slechts één voorspeld deeltje overgebleven, dat nog niet is waargenomen, het zogenaamde Higgs-deeltje. Ook al is dat deeltje door LEP niet gemaakt, bij de theoretische LEP-berekeningen speelt het wel een essentiële rol. De onbekende massa is daarom uit de LEP-meetresultaten te schatten. Net wat zwaarder dan de W- en Z-deeltjes, is de conclusie. Het is aan de nieuwe versneller dit Higgs-deeltje te vinden en daarmee de ontbrekende schakel in de theorie. Dat is de theorie van de elementaire deeltjes, de bouwstenen van alle materie.

Met de LEP-versneller, de detectoren, de gegevensverwerking, de analyse en de theorie hebben een paar duizend fysici afkomstig van ruim 150 universiteiten en instellingen zich enthousiast beziggehouden. Op CERN zelf, maar ook op hun thuisbasis. Niet in eenzaamheid, maar in onderlinge samenwerking. Daartoe in staat gesteld door CERN ontwikkelde computertechnieken voor gegevensuitwisseling. U kent de spin-off van deze activiteit, het World Wide Web. Bij het LEP-onderzoek waren vele promovendi betrokken, die voor een deel nu hun ontwikkelde talenten in de maatschappij gebruiken. Het enthousiasme en de gedrevenheid van de onderzoekers komen voort uit het betreden van onbekend terrein met onverwachte uitdagingen. Op welk gebied die liggen doet er minder toe. Voor elk wat wils. Ook al is de oplossing van elk probleem maar een stapje naar het inzicht in de natuur, de uitdaging en de voldoening zijn er niet minder om. Het is niet eenvoudig die beleving uit te dragen aan niet-participanten. Hoe legt een bergbeklimmer zijn beleving uit van het overwinnen van obstakels en het bereiken van het doel aan degene, die op de bergtop wordt neergezet en al van het panorama geniet? Dat is een lastige opgave, de natuurkundige zal daar-

om eerder het panorama van inzicht in de natuur schetsen dan de weg ernaar toe. Zo'n panoramaschets is fascinerend, al is zelfs dat verhaal moeilijker geworden sinds de aanschouwelijke klassieke natuurkunde van het Theatrum Physicum is overgegaan naar de abstracte taal van het kleine, de quantummechanica.

En klein is het. Toonden de microscopen van de "Oosterse lamp" de natuur op een schaal van 10^{-3} cm, een honderdste millimeter, de LEP-versneller "kijkt" op een schaal van 10^{-16} cm, dus 10 biljoen keer kleiner, en de volgende versneller ziet weer een factor 50 dieper. Houdt dit op? Misschien, maar niet door een gebrek aan nieuwsgierigheid. Vragen naar mogelijke andere deeltjes worden nu al gesteld vanuit de studie van het heelal. Nee, de groeiende omvang van de versnellers vormt het probleem. Die kan alleen ingetoomd worden als elektronen en positronen met nieuwe technieken sneller kunnen optrekken, dus op kortere afstanden hogere snelheden kunnen bereiken. Een uitdaging voor de moderne instrumentmakers. Dat is althans de gangbare visie. Een goed hoorbare minderheid van fysici probeert zonder die instrumenten dus met louter intellectuele wiskundige middelen de natuur op veel kleinere schaal te doorgronden. Als deze snaartheoretici daarin zouden slagen, moet het hier geschetste beeld bijgesteld worden. Zo blijft de natuurkunde boeiend, waarmee ik voldoende heb gezegd.

Referenties en noten

1. E.J. Dijksterhuis, Simon Stevin, 's Gravenhage 1943, 311.
2. S. Stevin, de Thiende, Leiden 1585.
3. J.H. van Swinden, Précis des opérations qui ont servi à déterminer les bases du nouveau système métrique, Parijs 1800.
4. A. van den Broek en R. Voeten, Wisselstroom, een analyse van de bèta-instroom in het wetenschappelijk onderwijs in de periode 1980-2000, IOWO, KUN 2002; zie www.minocw.nl/bhw/93. Verdere discussie in: E. Rinia en R. Kouw, FOM – 03. 1422.
5. S. Stevin, Wisconstighe Ghedachtenissen, Leiden 1605 en 1608.
6. K. von Meijenn, Die grossen Physiker, München 1997, 263.
7. B. Willink, De tweede gouden eeuw: Nederland en de Nobelprijzen voor natuurwetenschappen 1870-1940, Amsterdam 1998.
8. J.M. van Bemmelen, Verslag van de lotgevallen der universiteit, 14; in Jaarboek der Rijks-Universiteit te Leiden 1888-1889, Leiden 1889.
9. A. Hermann, J. Krige, U. Mersits, D. Pestre, History of CERN, Amsterdam 1987.
10. Dit was de situatie ten tijde van de LEP versneller en zal dat ook weer zijn als de nieuwe versneller (LHC) in bedrijf is.
11. G. Cardano, Mijn leven, vertaald door J. Lamein, Amsterdam 2000, 120.
12. Jet-Net, Jongeren en Technologie Netwerk Nederland, een samenwerkingsverband van bedrijfsleven e.a.; zie jet-net.nl.
13. G. Cardano, op. cit., 317.
14. D.J. van Lennep, Hulde aan de nagedachtenis van J.M. van Swinden, Amsterdam 1824, 13; D.J. van Lennep is de vader van de schrijver Jacob van Lennep.
15. D. van Delft in Wetenschap & Onderwijs, NRC Handelsblad, 12 april 2003.
16. G. Wiesenfeldt, Leerer Raum in Minervas Haus, Experimentelle Naturlehre an der Universität Leiden, 1675-1715, Amsterdam, Berlin und Diepholz, 2002.
17. Ibidem, 140.
18. P. de Clercq, At the sign of the oriental lamp: the Musschenbroek workshop in Leiden 1660-1750, Rotterdam 1997.
19. A.K. Wróblewski, Warsaw University; te vinden op www.lorentz.leidenuniv.nl/history/citations.html. Hier is het tegenwoordige gebruik van citatietelling toegepast op het verleden. Dat betekent niet, dat citaties vroeger nooit geteld zouden zijn. Cardano verrast ook in dit opzicht als hij een lijst geeft van 73 auteurs, die hem hebben geciteerd; op.cit., 284.