

## De weg tot inzicht

**Citation for published version (APA):**

Groendijk, H. (1965). *De weg tot inzicht*. Technische Hogeschool Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1965

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# DE WEG TOT INZICHT

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING  
VAN HET AMBT VAN HOGLERAAR  
IN DE AFDELING DER ELEKTROTECHNIEK  
AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL  
TE EINDHOVEN

OP VRIJDAG 2 APRIL 1965

DOOR

Dr. H. GROENDIJK

*Mijne Heren Curatoren,  
Mijnheer de Secretaris van deze Technische Hogeschool,  
Mijne Heren Hoogleraren en Lectoren,  
Dames en Heren leden van de wetenschappelijke, technische en administratieve  
staf van deze Hogeschool,  
Dames en Heren Studenten en voorts  
Gij allen die door Uw tegenwoordigheid blijk geeft van Uw belangstelling,*

*Zeer geachte toehoorders,*

Toen de mens bewust in de natuur om zich heen begon te kijken zag hij allerlei verschijnselen, die hij poogde ten eigen nutte aan te wenden. Hij zag een steen van een helling rollen, een vuur dat ontstond door blikseminslag, en hij begon na te denken hoe hij deze zou kunnen gebruiken. Hij ontdekte dat het vuur zijn voedsel smakelijker maakte. Een steen kon hij gebruiken om een dier te doden, ook van grotere afstand. Toen vond hij de slinger en de pijl en boog uit, zodat zijn arm nog verder reikte. Het vuur bleef voor hem iets geheimzinnigs houden, ook toen hij het zelf kon maken. Het zou dan ook tot de 18e eeuw duren voor de verklaring ervan gevonden werd. Bij de andere verschijnselen die hij ten eigen nutte aanwendde, had de primitieve mens deze moeilijkheden niet; ze waren direct doorzichtig. Al deze verschijnselen waren van mechanische of kinematische aard. Wij vinden nu dat er wel iets meer over te zeggen is. Dat een steen, als hij weggegooid wordt, na enige tijd op de grond valt is voor de primitieve mens doorzichtig: doordat een steen zwaar is valt hij. Wij zien daarachter de werking van de zwaartekracht. Bovendien hebben wij geleerd naar meer bijzonderheden te vragen: „wat is de vorm van de baan?” bijvoorbeeld. Deze bewegingen zijn daardoor voor ons wel minder eenvoudig geworden, maar ze spreken ook ons nog onmiddell-

lijk aan. In tegenstelling tot vele andere verschijnselen, radiogolven bv., zien wij hier direct wat er gebeurt. Voor de primitieve mens echter gold dit nog des te sterker. Hij zocht dan ook geen verklaring, hij zag die. Een verklaring geven en het direct doorzien van een verschijnsel waren identiek.

Dit gold tot op zekere hoogte ook nog voor de Grieken. De verschijnselen die ik zojuist noemde, waren bij hen geen voorwerp van onderzoek. Slechts enkelen wijdden er een tamelijk vluchtige aandacht aan. Hun verklaring, als men daar al van kon spreken, was evident. De grote belangstelling van de Grieken ging in de eerste plaats uit naar de sterren. De sterren bevonden zich volgens hen alle op één bol en ze bewogen in cirkels over die bol. Deze beweging had naar hun mening geen verdere verklaring nodig. In het gebied der sterren is alles volmaakt en een cirkel is een volmaakte lijn, zoals een bol een volmaakt oppervlak is. Onze uitdrukking „in hoger sferen” hangt nog met deze opvatting samen. Zij is het eerst duidelijk uitgesproken door Plato. Niet-verandering was naar zijn besef volmaakter dan verandering, en zowel een cirkel als een bol blijft aan zichzelf gelijk, ook als hij beweegt, nl. om zijn middelpunt zoals in die hemelse sferen geschiedt. Zoals U ziet vindt men hier al een bewust zoeken naar een verklaring. Wij mogen nu denken wat we willen van deze verklaring, maar voor wie haar aanvaardt is daardoor ook hier weer het verschijnsel onmiddellijk duidelijk geworden.

Gezien deze verklaring is het begrijpelijk dat de onregelmatige bewegingen der planeten een grote moeilijkheid vormden voor de Grieken. De oplossing die zij daarvoor vonden en die bijna 2000 jaar lang als de juiste is aanvaard, was dat zij de planetenbeweging beschouwden als een superpositie van vele cirkelbewegingen. Daardoor was men in staat die schijnbaar onregelmatige bewegingen der planeten niet alleen te beschrijven, maar ook te voorspellen. De theorie van Copernicus, die de zon in het middelpunt plaatste, betekende nog geen breuk met dit principe. Die kwam pas toen Kepler ontdekte dat de planeten ellipsvormige banen om de zon beschreven. Toen was er echter ook ineens weer behoefte gekomen aan een verklaring. Waarom beschrijven de planeten zo'n merkwaardige baan? Zoals U weet is die verklaring een kleine eeuw later door Newton gegeven. Het is de zwaartekracht die de bewegingen der planeten beheerst, dezelfde die ook de voorwerpen op aarde doet vallen. Newton slaagde erin een formule voor die zwaartekracht te vinden en hij liet zien dat deze in het algemeen tot ellipsvormige banen leidt.

Wij beschouwen dit nu als de juiste verklaring. Wij begrijpen met behulp van deze theorie de verschijnselen. Hiermede bedoelen we, zoals Ubbink zegt in zijn inaugurele rede te Leiden van vorig jaar, dat we die verschijnselen met behulp van deze theorie op logisch samenhangende wijze kunnen ordenen. Maar dit is een moderne definitie, die onder invloed van de ontwikkeling der exacte wetenschap zelf tot stand is gekomen. Door velen van de tijdgenoten van Newton werd zijn zwaartekrachttheorie niet als een verklaring aanvaard. Men vond dat door te zeggen hoe die kracht van de afstand afhing, nog geen wezenlijke verklaring was gevonden. Wij zijn geneigd die critici slechts in zoverre gelijk te geven dat er nog wel mogelijke vragen overbleven, maar er is naar onze mening toch een wezenlijke stap vooruit gedaan door het opstellen van die formule.

Wat ontbrak er nu naar de mening van de tijdgenoten aan de theorie van Newton? Het was dit, dat de theorie alle aanschouwelijkheid miste. Men was tot dan toe verschijnselen gewend waarbij de verklaring direct aanschouwelijk was omdat de verschijnselen zelf van mechanische aard en dus aanschouwelijk waren. Men heeft dan ook wel getracht de zwaartekracht te verklaren met mechanische constructies: wervels in een onzichtbare ether, waarvan de deeltjes door onderlinge botsingen elkaar meeslepen en tevens een kracht geven op de planeten. Dit was een verklaring van de goede soort volgens Descartes en Huygens, de opstellers van deze theorie (ook Kepler had trouwens al ideeën in die richting). Of zij juist was zou verder onderzoek natuurlijk moeten uitwijzen. En hier bleek nu de zwakheid van de theorie der etherwervels. Het lukte niet de formule voor de zwaartekracht, zoals die gegeven was door Newton, eruit af te leiden. Daarentegen had de theorie van Newton een enorm succes. De bewegingen der planeten bleken zeer exact met zijn theorie beschreven te kunnen worden. Daardoor werd de zwaartekrachttheorie van Newton gemeengoed en, merkwaardig genoeg, de vraag naar een verklaring van de zwaartekracht kwam steeds meer op de achtergrond. Slechts weinigen interesseerden zich nog voor de hiermee samenhangende vragen, al bleef men de situatie in principe nog wel als onbevredigend beschouwen. Zoals U weet is later de zwaartekracht door Einstein in een veel algemener kader gezet en men zegt dan ook wel dat hij de verklaring voor de zwaartekracht gevonden heeft. Een verklaring van dit type zou Descartes echter zeker niet bevredigd hebben en waarschijnlijk ook Newton niet.

Maar al was nu de mechanistische verklaring van de zwaartekracht

wat op de achtergrond geraakt, toch bleven de fysici van de 17e eeuw – en ook die van de 18e en 19e eeuw nog – dit soort verklaringen als de uiteindelijk enige bevredigende beschouwen. Ik heb U uiteengezet hoe dat gekomen is. Mechanische verschijnselen hebben een doorzichtig karakter en ze waren, mede daardoor, de eerste waarvoor de natuurwetenschap zich interesseerde. Men had zodoende hun verklaring als voorbeeld voor ogen. Dit standpunt is nu verlaten. Een verklaring behoeft nu niet meer per se een mechanistisch karakter te hebben. Maar toch kunnen we in de taak die de onderzoekers uit die tijd zich stelden, een element vinden dat onveranderd is gebleven. Een verklaring die enkel bestond uit een aantal stuk voor stuk na te rekenen logische stappen, hoe waardevol op zichzelf ook, bevredigde hen niet. Zij streefden naar een direct inzicht in het verschijnsel, zij wilden het als het ware voor hun ogen zien. Maar ook de hedendaagse onderzoeker vormt zich nog steeds beelden, bouwt voorstellingen op waarmee hij een verklaring van een verschijnsel, een theorie, in haar geheel kan overzien.

#### *Waarde toeboorders,*

U zult van mij verwachten dat ik over de elektrotechniek ga spreken. Nu is het in de elektrotechniek met de aanschouwelijkheid wel moeilijker gesteld dan bij de hiervoor genoemde onderwerpen. De objecten van het onderzoek zelf zijn onzichtbaar. Een elektrische stroom ziet men niet lopen, maar tot de aanwezigheid ervan concludeert men op grond van de reactie van een meetapparaat. Wel kan men een stroom voelen, maar dit wordt toch niet ervaren als een schok van herkenning.

Met enig recht kan men de geboorte van de elektrotechniek plaatsen omstreeks 1830 toen Ampère, Oersted en Faraday hun proeven deden over de wisselwerking tussen magneetvelden en elektrische stromen. Van deze drie heeft Faraday de meeste invloed gehad op de daarop volgende ontwikkeling en wel vooral door zijn inzicht in het verband dat er bestaat tussen elektrische en magnetische verschijnselen. Faraday was een self-made man die met wiskunde niet zo goed overweg kon. Als hij iets wilde begrijpen stelde hij het zich het liefst aanschouwelijk voor. Hij bedacht dan ook een aanschouwelijk model met behulp waarvan hij de elektrische en magnetische verschijnselen kon verklaren, die toen langzamerhand, mede door zijn eigen werk, bekend waren geworden.

Ik gebruikte zojuist het woord model. In het moderne spraakgebruik betekent dit een analogon. Modellen worden veel gebruikt in de wetenschap. Als de onderzoeker een nieuw gebied betreedt is hij bij de ontwikkeling daarvan zeer geholpen als hij ontdekt dat in dat nieuwe gebied dezelfde wiskundige formules gelden als hij hanteert bij de beschrijving van verschijnselen waarmee hij reeds vertrouwd is. Want de conclusies die vroeger voor dat bekende gebied uit zijn formules werden afgeleid, kan hij nu zonder meer ook toepassen op het nieuwe gebied. Hij heeft dan inderdaad een model van dit laatste gevonden.

Voor de bruikbaarheid van het model is het echter helemaal niet noodzakelijk dat het van te voren goed onderzocht is. Als het model aanschouwelijk is, kan het alleen al daardoor een goed hulpmiddel zijn. Zo is bv. een gespannen rubbervlies een model van bepaalde elektrische velden. Dit model is door mijn voorganger in deze leerstoel, Prof. Jonker, gebruikt bij zijn onderzoek op het gebied van radiobuizen. Door het vlies op enkele punten omhoog of naar beneden te drukken kan men zorgen dat de hoogte van elk punt van het vlies evenredig is met de potentiaal in het overeenkomstige punt van het elektrische veld. Dit komt doordat voor het vlies dezelfde formule geldt als voor het elektrische potentiaalveld, waarbij dan de hoogte boven een horizontaal vlak in de plaats komt van de potentiaal. Zo kan men o.a. de potentiaalverdeling in een radiobuis aanschouwelijk maken. En dit is belangrijk, want door de vorm van het rubbervlies te bekijken overziet men als het ware in één blik de gehele potentiaalverdeling. Bovendien moet U nog weten dat de baan die een stalen kogeltje volgt als men het op zo'n rubbervlies laat rollen, het analogon is van een elektronenbaan in het overeenkomstige elektrische veld. D.w.z. het kogeltje en het elektron doorlopen banen van dezelfde vorm. U zult dan begrijpen dat zo'n model een zeer belangrijk hulpmiddel bij het onderzoek kan zijn. Prof. Jonker kon dan ook in zijn bovengenoemd onderzoek met behulp van dit model tot zeer belangrijke en nuttige conclusies over de banen van de elektronen in een radiobuis komen. Maar ondanks deze overeenkomst tussen een gespannen vlies en een elektrisch veld zal toch niemand zeggen dat we ons zo'n elektrisch veld in werkelijkheid moeten voorstellen als een gespannen vlies.

Maar voor Faraday beschreef het aanschouwelijke beeld dat hij zich vormde wel degelijk de werkelijkheid achter de elektromagnetische verschijnselen. Hij veronderstelde dat er van een elektrische lading

krachtlijnen uitgingen die alleen maar konden eindigen op een elektrische lading van het tegengestelde teken. Ook nu spreken wij in navolging van Faraday nog wel van krachtlijnen, maar let wel, het zijn slechts mathematische lijnen geworden die op elke plaats de richting van de elektrische veldsterkte aangeven. Voor Faraday echter had het begrip bovendien nog een veel reëlere inhoud. De krachtlijnen vormden samen buizen. Deze krachtbuizen, die positieve en negatieve ladingen met elkaar verbonden, hadden in zijn voorstelling de tendentie zich samen te trekken, dus om zich zo kort mogelijk te maken. Aldus veroorzaakten zij de aantrekkingskracht tussen die ladingen. Toch drongen Faraday's krachtbuizen zich niet samen om de kortste verbinding tussen die beide ladingen, de rechte lijn. Dit zou dan komen omdat er ook een zijdelingse druk in deze krachtbuizen heerste die verhinderde dat ze zich tot een dunne lijn samensnoerden. Ook zorgde deze zijdelingse druk voor de afstoting tussen ladingen van gelijk teken. Ik vermeld dit alles om te laten zien hoe een tastbare werkelijkheid de krachtlijnen waren in de voorstellingen van Faraday.

Met deze voorstellingen konden de elektrische en magnetische verschijnselen goed beschreven worden. En wederom ging men zich afvragen, net als bij de zwaartekracht: wat gebeurt daar in de ruimte tussen twee ladingen, m.a.w. wat zijn die krachtlijnen eigenlijk? Dit heeft aanleiding gegeven tot de theorie der ethermodellen. Men dacht zich een stof bestaande uit heel kleine deeltjes die de krachten konden overbrengen, d.w.z. zo reageerden dat ze aanleiding gaven tot dat wat wij de elektromagnetische verschijnselen noemen.

Een nieuwe stap werd gedaan door Maxwell, die een uitbreiding gaf aan de ideeën van Faraday en aan wie het tevens – en dit bleek een belangrijke schrede vooruit – gelukte ze in mathematische vorm te brengen. Immers nu was men in staat veel ingewikkelder situaties te behandelen; o.a. kon men concluderen dat er golven in de ruimte mogelijk waren. En dan zien we hetzelfde gebeuren als bij de zwaartekracht: het bleek niet mogelijk de mechanische voorstellingen van etherdeeltjes, die ook Maxwell bij de opzet van zijn theorie voor ogen stonden, verder uit te werken. Alleen al het feit dat een werkelijk bestaan van de ether als fijnverdeelde materie ook uit niet-elektromagnetische verschijnselen zou moeten blijken, was in strijd met de ervaring. Intussen beleefde echter de Maxwell-theorie het ene succes na het andere. Onze moderne communicatietechniek vindt er haar oorsprong in.



Hoe ging het intussen met de aanschouwelijke voorstellingen van Faraday en Maxwell? Dat ze de werkelijkheid achter de verschijnselen beschreven was steeds moeilijker vol te houden, maar als model, als middel om zich de theorie aanschouwelijk voor te stellen, hadden ze hun waarde behouden. Ze waren niet fout gebleken. Integendeel, men kan zeggen dat Maxwell juist hierdoor zijn theorie kon opbouwen. Toch zien we dat ze langzamerhand aan betekenis inboetten, hoewel nog steeds brokstukken ervan in de taal en de voorstellingswereld van de fysicus en de elektrotechnicus voortleven. Het woord krachtlijn dat ik U al genoemd heb, is er één van.

Is nu het feit dat men de zeer aanschouwelijke voorstellingen van Faraday en Maxwell niet meer nodig heeft, niet in strijd met wat ik eerder gezegd heb over het belang van zulke voorstellingen voor de onderzoeker en technicus bij het in zich opnemen van ingewikkelde theorieën? Mijns inziens niet. De reden dat de genoemde voorstellingen buiten gebruik zijn geraakt, is dat de Maxwell-vergelijkingen, die aanvankelijk zeer abstracte uitdrukkingen leken, langzamerhand zelf doorzichtig zijn geworden. Mathematische begrippen als divergentie en rotatie die erin voorkomen, kunnen nu zo voorgedragen worden dat hun betekenis onmiddellijk is te doorzien. Dit laatste bedoel ik letterlijk: de visuele voorstelling speelt bij het manipuleren met de Maxwell-theorie een grote rol. We kunnen tekeningen gebruiken om bij een gesprek over deze theorie onze bedoelingen te verduidelijken. Deze visuele voorstellingen zijn gedeeltelijk ook mechanisch. Ik gebruik echter dat woord liever niet in dit verband, want als mechanische voorstellingen zijn ze onvolledig. Het verschil met vroeger is nl. dat we van die voorstellingen slechts zoveel gebruiken als we nodig hebben. Dit kunnen we doen omdat we die voorstellingen zien als een model, een middel om onze weg te vinden in de theorie en de verschijnselen, en niet meer per se als de werkelijkheid achter de verschijnselen.

Deze nieuwe manier van beschouwen is niet plotseling ontstaan. Voor een dergelijke ontwikkeling is blijkbaar een lange tijd nodig, althans om het zo te kunnen zeggen dat het overdraagbaar is aan een volgend geslacht. In het *Leerboek der Natuurkunde* van Lorentz, waarvan de laatste revisie in 1904 plaatsvond, speelt de ether bij de behandeling der elektromagnetische verschijnselen nog een grote rol, hoewel het toen al duidelijk was geworden dat men in grote moeilijkheden kwam als men die ether als een werkelijk bestaande stof beschouwde. Wij zijn er inmiddels aan gewend geraakt ons elektrische

en magnetische velden voor te stellen zonder aan een mechanisch werkend model te denken. Voor het goed begrijpen van de verschijnselen was zo'n model blijkbaar niet nodig. Het werk dat eraan besteed is, is ten dele nutteloos geweest (ik denk hier met name aan de ethermodellen). Het is een stadium geweest waarin de wetenschap zichzelf een onjuiste vraag stelde. Zij kon deze vraag echter pas als onjuist herkennen toen zij haar tot op de bodem uitgezocht had. Het is merkwaardig dat niet elk nieuw geslacht weer opnieuw die ontwikkeling behoeft door te maken. Blijkbaar zocht men in de 19e eeuw naar een mechanisch model omdat steeds door elk vorig geslacht die vraag gesuggereerd werd. Wij mogen ons afvragen welke onjuiste vragen wij nu op onze beurt aan het volgende geslacht suggereren. Evenals toen zullen wij dat alleen maar te weten kunnen komen door de vragen die wij ons stellen en de antwoorden die wij daarop gevonden menen te hebben, op al hun consequenties te beproeven.

Dit heeft men vroeger niet gedaan met de zwaartekrachttheorie van Descartes met zijn etherwervels. Ik vermoed dat de toenmalige kennis van de wiskunde daarvoor niet toereikend was. Maar had men dit kunnen doen, dan zou al veel eerder gebleken zijn dat het niet altijd mogelijk is een mechanisch werkend model te construeren.

*Zeer gewaardeerde toehoorders,*

Zoals ik reeds eerder gezegd heb, geeft de mathematische formulering de mogelijkheid zeer gecompliceerde problemen te behandelen. In dat geval verschaft het inzicht dat we in de fundamentele formules hebben nog niet automatisch het begrijpen van deze veel ingewikkelder situaties. We komen dan weer voor hetzelfde probleem te staan: we willen de berekeningen voorzien en zijn er niet mee tevreden als we slechts de logica van elke stap kunnen beamen. Dat we deze eis stellen is niet alleen maar ter bevrediging van een persoonlijk verlangen, maar het heeft ook een didactisch en een heuristisch doel. Want alleen als we een theorie of een verschijnsel in zijn geheel kunnen overzien, kunnen we die kennis goed overdragen aan anderen en ook alleen dan kunnen we zoeken naar wegen om die kennis uit te breiden.

Hoe gaan wij nu te werk bij het verkrijgen van dit inzicht? Ik wil U aan de hand van twee voorbeelden daarvan een idee trachten te geven.

Het eerste voorbeeld dat ik neem betreft de golfverschijnselen die kunnen optreden op een cilindervormige bundel van elektronen die

alle nagenoeg dezelfde richting en dezelfde snelheid hebben. In de ultrakortegolfttechniek is dit een veel gebruikt hulpmiddel om elektromagnetische straling op te wekken, maar daar gaat het nu niet om. We willen nu alleen kijken naar de golven die op de bundel zelf lopen. Golfverschijnselen kennen wij door directe aanschouwing in de natuur alleen als golven op een wateroppervlak of in een korenveld. Wij zien ze als vormveranderingen van het oppervlak. Het zijn zg. oppervlaktegolven. Dat soort golven kan ook optreden bij een elektronenbundel. Er zijn echter nog andere soorten golven mogelijk, waarover straks meer. We kunnen dit alles heel goed becijferen, rekening houdend met de onderlinge krachten tussen de elektronen van de bundel, met de invloed van een magneetveld dat in de regel ook aanwezig is, met het feit dat zo'n bundel een bepaalde dikte heeft, enz. Er zijn methodes ontwikkeld om de golflengte en de voortplantingssnelheid van de optredende golven te berekenen. Het blijkt dan dat er zeer vele golven kunnen optreden, alle met verschillende golflengtes en voortplantingssnelheden. Het spreekt vanzelf dat we hiermee niet tevreden zijn, we willen niet alleen weten dat die golven kunnen optreden, we willen ook begrijpen wat er precies in de bundel gebeurt.

De methode die we daarvoor gebruiken is nu het berekenen van extreme gevallen. Bijvoorbeeld we deinzen er niet voor terug een bundel te nemen van een oneindige dikte in een oneindig sterk magneetveld dat dezelfde richting heeft als de bundel. U ziet een volkomen onpraktisch geval, maar het heeft dit grote voordeel dat we een zeer overzichtelijke situatie hebben gekregen. Ons zeer sterke magneetveld zorgt er nl. voor dat er uitsluitend bewegingen optreden in de bewegingsrichting van de bundel; en de oneindig grote diameter van de bundel bevrijdt hem van alle verschijnselen die aan de grens kunnen optreden. Door deze vereenvoudiging verminderen we drastisch het aantal golven dat op de bundel kan lopen. We houden er slechts twee over, de zgn. ruimteladingsgolven. Deze bestaan uit periodieke fluctuaties van de elektronendichtheid die zich met een bepaalde snelheid verplaatsen. Deze golven lijken enigszins op de geluidsgolven die in een kolom lucht kunnen lopen. Het hele systeem is nu zo eenvoudig geworden dat de afleiding van de golven in enkele regels gegeven kan worden en gemakkelijk is te doorzien. Het is zelfs mogelijk zich de bewegingen van de afzonderlijke elektronen onder invloed van de krachten waarmee ze elkaar afstoten voor te stellen, en dus werkelijk aanschouwelijk te maken wat er precies in de bundel

gebeurt als zich daarin ruimteladingsgolven voortplanten. Op deze wijze kunnen we dus één type golven afzonderlijk bestuderen. En op overeenkomstige wijze zijn ook andere types te demonstreren. We kunnen bv. zorgen dat er geen ruimteladingsgolven optreden door de dichtheid van de elektronen zo klein te nemen, dat de onderlinge krachten tussen de afzonderlijke elektronen verwaarloosbaar zijn. Geven we dan het magneetveld weer een eindige sterkte (dus niet meer oneindig groot zoals in het eerste geval) dan vinden we een heel ander soort golven. Dit zijn de zg. cyclotrongolven. Ze hebben te maken met de bewegingen van elektronen onder invloed van een magneetveld.

Hiermee is de analyse van het probleem natuurlijk nog niet klaar. Het is echter niet mijn bedoeling deze verder te vervolgen; ik wilde U slechts een methode demonstreren waarmee men inzicht in een gecompliceerde situatie kan verwerven. Deze methode bestaat dus hierin dat we het probleem splitsen in een aantal min of meer gelijkwaardige, op gelijk niveau staande deelproblemen, die elk op zichzelf veel minder ingewikkeld zijn en die tezamen een inzicht in het geheel verschaffen. Als we ons het probleem voorstellen als een massief blok, dan heeft onze werkwijze hierin bestaan dat we een aantal vertikale sneden hebben aangebracht, waarbij de aldus verkregen naast elkaar staande plakken onze deelproblemen representeren.

Dit is een werkwijze die vaak wordt toegepast. Maar in de vakliteratuur vindt men haar dikwijls niet terug. De schrijver van een wetenschappelijk artikel heeft nl. de neiging om naar buiten te treden met een zo algemeen mogelijke oplossing. Als het hem gelukt een bepaald probleem – zoals bv. het genoemde van golven op een elektronenbundel – onder zeer algemene voorwaarden op te lossen, dan zal hij bij voorkeur deze algemene oplossing publiceren. Van de manier waarop hij tot die oplossing gekomen is – en die vaak hierin bestaat dat eerst eenvoudiger gevallen zijn opgehelderd – vindt men dan niets terug in zijn artikel. Dit is in zekere zin begrijpelijk. Het is inderdaad aanbevelenswaardig te streven naar een zo algemeen mogelijke oplossing. Deze kan namelijk weer aspecten vertonen die men bij de behandeling in deelproblemen over het hoofd ziet. Verder geeft zij achteraf vaak op eenvoudige wijze de bijzondere gevallen; bijvoorbeeld in ons geval door de sterkte van het magneetveld naar oneindig te laten gaan of door de ladingsdichtheid nul te stellen. Bovendien is het, gezien de grote stroom van artikelen, wel zaak zo beknopt mogelijk te schrijven. De lezer moet dan echter, wil hij zich

de stof volkomen eigen maken, dit hele proces weer voor zichzelf reproduceren. Dan vooral blijkt hoe waardevol gedachtenwisselingen met collega's – en als het kan met de auteur – kunnen zijn voor de verovering van het inzicht.

Om nu te onderzoeken of de zojuist besproken methode algemeen toepasbaar is, gaan we nog eens een geheel ander geval beschouwen. Daarvoor nemen we de transistor. Transistoren zijn nu zo'n 15 jaar oud. Men kan rustig stellen dat de werkingwijze van de transistor van het begin af aan begrepen is. Immers hij is juist gemaakt op grond van een vooraf verkregen theoretisch inzicht. Toch is er een duidelijke ontwikkeling te constateren in de manier waarop zijn werkingwijze beschreven wordt. Aanvankelijk beschouwde men de transistor als iets waarvan de werking veel moeilijker duidelijk te maken was dan die van zijn partner of concurrent, al naar U het wilt opvatten, de radiobuis. En inderdaad spelen quantummechanische effecten er een essentiële rol in, en dan nog niet eens de allersimpelste. Maar in opeenvolgende geschriften heeft men steeds beter leren onderscheiden wat strikt noodzakelijk was voor het begrip en wat niet. Het resultaat is dat men nu in enkele bladzijden de werkingwijze van de transistor goed kan uiteenzetten, en dat hij eigenlijk nauwelijks moeilijker blijkt te zijn dan een radiobuis.

Op welke wijze is men er nu in geslaagd de verklaring van de transistorwerking zo sterk te vereenvoudigen? Laten we eerst eens nagaan of het procédé dat we in het voorbeeld van de golven op een elektronenbundel hebben gevonden, hier ook toegepast wordt. Inderdaad kan men daar wel iets mee bereiken. Men kan eerst de invloed van de spanning van de collector, overeenkomend met de anode in een radiobuis, op de stromen in de transistor verwaarlozen en naderhand het aldus verkregen beeld corrigeren door tevens de invloed van de collectorspanning in de beschouwingen te betrekken. Overigens weerspiegelt dit ook de historische gang van zaken: de invloed van de collectorspanning is pas enkele jaren na de uitvinding van de transistor goed onderkend.

Veel verder komt men echter niet met deze, wat ik genoemd heb, verticale doorsnijding in afzonderlijk te behandelen deelproblemen. De grote vereenvoudiging in de behandelingswijze van de transistor is verkregen met behulp van wat ik in analogie met en tegelijkertijd in tegenstelling tot de vorige methode horizontale doorsnijding van het probleem zou willen noemen. Ik maak hierbij gebruik van een begrip ingevoerd door Van der Ziel in zijn boek *The natural sciences and the*

*Christian message*, namelijk „levels of understanding”, niveaus van begrijpen. Hij geeft hiervan het volgende voorbeeld. In de fysische theorieën van de vorige eeuw (de reeds eerder genoemde Maxwelltheorie is er één van) kwamen eigenschappen zoals de elektrische weerstand van geleiders, het smeltpunt van vaste stoffen, de treksterkte van metalen e.d. voor als materiaalconstanten. De uit metingen bekende waarden van deze constanten werden ingevuld in de formules om aldus het gedrag en de invloed van deze materialen in bepaalde omstandigheden te kunnen voorspellen. Deze eigenschappen waren echter zelf nog geen voorwerp van onderzoek. Later werd er meer bekend over de moleculaire structuur van die stoffen, d.w.z. over de wijze waarop ze opgebouwd zijn uit atomen. Toen gelukte het in vele gevallen eigenschappen zoals elektrische weerstand, smeltpunt enz. af te leiden uit die structuur. Men kan dus stellen: er is een niveau van begrijpen waarop men die eigenschappen beschouwt als gegeven grootheden. Op een dieper gelegen niveau kan men de moleculaire structuur bestuderen en daaruit die eigenschappen afleiden. Vervolgens kan men op een nog dieper gelegen niveau van begrijpen de eigenschappen van de atomen trachten te verklaren uit de wijze waarop ze opgebouwd zijn uit de elektronen en kernen. Ik wil hier opmerken dat de geschetste volgorde overeenkomt met de historische gang van zaken. Men is zelfs al enige stappen verder gekomen en op het ogenblik vormt het onderzoek van de structuur der elementaire deeltjes het meest spectaculaire gebied der experimentele natuurkunde.

In het voorbeeld dat Van der Ziel noemt komt dus de opeenvolging van niveaus van begrijpen overeen met de historische volgorde. Men kan deze niveaus van begrijpen echter ook met een didactische bedoeling hanteren en in ons voorbeeld van de transistor wordt de volgorde dan juist tegengesteld aan de historische gang van zaken. Men kan de transistor behandelen door het verband tussen de spanningen en stromen als gegeven te beschouwen. De op dat niveau verkregen kennis is zeer nuttig. Men weet dan alles wat nodig is om schakelingen met transistoren te maken. Op een dieper gelegen niveau kan men ingaan op de elektrische eigenschappen van de stoffen waaruit de transistor is opgebouwd en de elektronen- en gatengeleiding behandelen. Hierbij moet men dan reeds iets zeggen over de energieniveaus in de vaste stof, zodat de quantummechanica al om de hoek komt kijken. De volledige bespreking daarvan kan men echter op een volgend niveau van begrijpen onderbrengen.

Van welk niveau af men nu de transistor zal willen behandelen,

wordt helemaal bepaald door het doel dat men wil bereiken. Is het doel alleen het maken van schakelingen dan kan men met het eerste niveau volstaan. Wil men echter bereiken dat de toehoorders ook toekomstige ontwikkelingen zullen kunnen volgen, dan zal men tevens begrip moeten wekken voor de processen die zich in de transistor afspelen. Tot dit niveau gaan de meeste colleges in de elektronica. Voor degenen die actief aan die nieuwe ontwikkeling moeten deelnemen, is natuurlijk een grondige kennis noodzakelijk van de quantummechanische effecten; deze immers liggen ten grondslag aan de transistorwerking.

Ik heb nu aan twee voorbeelden laten zien hoe wij inzicht trachten te verwerven in de verschijnselen en hun theoretische verklaring. Daarbij heb ik geprobeerd dit verklaringsproces te schematiseren als 'vertikale' en 'horizontale' doorsnijding. Dit was echter meer om het besprokene kort samen te vatten, dan dat ik recepten zou willen geven die slechts behoeven te worden toegepast om tot de didactisch (waaronder begrepen auto-didactisch) meest juiste uitleg te komen.

Dat er inderdaad niet zo'n snelle weg is, merkt men gauw genoeg als men met een nieuw verschijnsel te maken krijgt. Ik denk bv. aan de veldeffect-transistor, een nieuw type transistor die sinds kort op de markt verschenen is en die een belangrijk element in de elektronica belooft te worden. Zijn werkingswijze verschilt in vele opzichten van die van de bekende transistor. Als men overweegt wat men hierover in een college moet vertellen, dan kan het van nut zijn dat men enerzijds weet dat het aanbeveling verdient het probleem zoveel mogelijk in eenvoudiger deelproblemen te splitsen en dat men er anderzijds op bedacht is dat het voor het begrijpen lang niet altijd noodzakelijk is tot de diepste fundamenten te graven. Maar een allereerste vereiste blijft natuurlijk – en dat geldt voor elk nieuw probleem – dat men de stof beheerst. Want alleen dan is men in staat een zinvolle splitsing aan te brengen.

Dat er dus steeds een worsteling met de stof nodig zal zijn, behoeft ons ook niet te verwonderen. En wat ik hier beschreven heb, is niet iets nieuws. De wetenschap heeft altijd al gestreefd naar doorzichtige verklaringen. Aanvankelijk deed zij dat, geleid door haar eigen geschiedenis, op grond van een vooraf – al dan niet bewust – geformuleerd principe, dat voor elk verschijnsel een mechanistische verklaring gevonden zou moeten worden. Dit principe heeft de wetenschap in de loop van de vorige eeuw moeten opgeven. Wij zoeken – naast de stapsgewijze afleiding – eveneens naar het directe inzicht, maar nu op

grond van een praktische eis. Wij moeten het geheel kunnen overzien om in staat te zijn tot overdracht, toepassing en uitbreiding van onze kennis.

*Aan Hare Majesteit de Koningin* betuig ik mijn eerbiedige dank voor Haar besluit mij te benoemen tot hoogleraar aan deze Technische Hogeschool.

*Mijne Heren Curatoren,*

U hebt mij willen voordragen om de onderwijstaak van Prof. Jonker, onder wiens leiding ik vele jaren gewerkt heb, voort te zetten. Ik ben er trots op juist deze taak te mogen vervullen. De verantwoordelijkheid die U mij daarmee toegedacht hebt, heb ik gaarne aanvaard. Weest U ervan overtuigd dat ik mijn uiterste best zal doen mij Uw vertrouwen waardig te betonen.

*Mijne Heren leden van de Senaat,*

Zojuist heb ik betoogd dat splitsing in deelproblemen noodzakelijk kan zijn, maar dat het uiteindelijk toch gaat om inzicht in het geheel. Zo vormt ook het geheel van de Senaat pas de zinvolle basis voor de individuele arbeid van ieder van zijn leden. Gaarne zal ook ik meehelpen bij Uw streven de opleiding aan onze Technische Hogeschool zo goed mogelijk te maken, al besef ik dat mijn aandeel in dezen slechts bescheiden kan zijn.

*Mijne Heren Hoogleraren, leden van de afdeling der Elektrotechniek,*

Men zegt dat de eerste jaren van het hoogleraarschap het moeilijkst zijn. Of het later gemakkelijker wordt, heb ik nog niet ervaren. Maar mocht dit niet zo zijn, dan nog wekt deze gedachte geen verontrusting bij mij. Immers dit heb ik reeds wel ervaren: de harmonieuze samenwerking die binnen de afdeling die ik nu de mijne mag noemen, heerst, betekent een versterking van het vermogen dat ieder onzer individueel kan leveren.

*Hooggeleerde Zaalberg van Zelst,*

De onderwijstaken die wij beiden hebben gekregen zijn nauw verwant. Zozeer zelfs, dat wij elk een stuk van één college geven en tezamen de zorg voor één practicum hebben. Over het contact dat wij daardoor hebben en dat naar ik hoop in de toekomst nog intensiever zal worden, verheug ik mij zeer.



*Mejuffrouw, Mijne Heren van de groep Elektronica A,*

Een aantal Uwer kende ik reeds goed voordat ik de leiding van Uw groep kreeg, anderen heb ik pas daarna leren kennen. Wij moeten gezamenlijk het werk voortzetten en uitbreiden dat Prof. Jonker en voor een gedeelte ook Prof. Knol waren begonnen. Dank zij het vele dat voor mijn komst al verricht was, hebben wij meteen kunnen beginnen. Hetgeen U in de afgelopen maanden gepresteerd hebt, geeft mij het volste vertrouwen dat wij een tijd van vruchtbare samenwerking tegemoet kunnen zien.

*Mijne Heren Directieleden en Medewerkers van het Philips' Natuurkundig Laboratorium,*

De vakken die ik doceer, heb ik in Uw laboratorium geleerd. Ik ben bij U gekomen als fysicus en ben vertrokken als elektrotechnicus. In de groep waarin ik werkte hadden fysici en elektrotechnici analoge taken. Zelf heb ik deze omzwaai dan ook niet als een fundamentele verandering gevoeld. Dat hebt U waarschijnlijk ook kunnen beluisteren in de zojuist uitgesproken rede. Het interessante werk dat ik bij U mocht verrichten en de vele stimulerende contacten met collega's hebben zeer veel bijgedragen tot mijn vorming en kennis. In dit dankwoord wil ik ook U betrekken, *hooggeachte Bruining*, hoewel Gij thans op een ander researchlaboratorium werkt. De jaren dat ik onder Uw bezielende leiding mocht werken, zijn voor mij bijzonder waardevol geweest.

*Dames en Heren Studenten,*

De beschouwingen die ik deze middag heb gehouden, hadden ook een didactische zijde. Daardoor was ook U bij het onderwerp betrokken. Uit het besprokene mag U voor Uzelf de lering trekken, dat U met de kennis die U bij Uw studie vergaart, alleen zult kunnen werken als dit niet slechts kennis van een serie feiten of mathematische bewerkingen is, maar als U er bovendien in slaagt deze detailkennis te combineren tot een inzicht. U zult merken dat een groot deel van de feitenkennis dan veel gemakkelijker gememoreerd kan worden. U hebt deze methode ongetwijfeld reeds van tijd tot tijd toegepast. Als ik echter een aantal Uwer heb kunnen helpen door dit Uzelf meer bewust te maken, dan acht ik mij voldoende beloond voor de moeite die het voorbereiden van deze rede mij heeft gekost.

Ik heb gezegd.