

Een halve eeuw structuuronderzoek van de vaste stof

Citation for published version (APA):

Rieck, G. D. (1960). Een halve eeuw structuuronderzoek van de vaste stof. Groningen: Wolters.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1960

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

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

EEN HALVE EEUW STRUCTUURONDERZOEK
VAN DE VASTE STOF

Dr. G. D. RIECK

EEN HALVE EEUW STRUCTUURONDERZOEK
VAN DE VASTE STOF

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING VAN HET AMBT
VAN GEWOON HOGLERAAR IN DE AFDELING DER
SCHEIKUNDIGE TECHNOLOGIE AAN DE
TECHNISCHE HOGESCHOOL TE EINDHOVEN
OP VRIJDAG 11 MAART 1960

DOOR

Dr. G. D. RIECK

*Mijne Heren Curatoren,
Mijne Heren Hoogleraren en Adviseurs,
Dames en Heren leden van de wetenschappelijke, technische
en administratieve staf,
Dames en Heren studenten,
en voorts,
Gij allen die door Uw aanwezigheid van Uw belangstelling
blijk geeft,*

Zeer gewaardeerde toehoorders,

In 1956 concludeerde Bouwkamp in zijn intrede te Utrecht, dat het houden van een oratie geen plicht en nog veel minder een voorrecht was van de nieuwbenoemde hoogleraar, doch dat deze plechtigheid slechts op grond van traditie plaats vond. Ik zou hieraan echter willen toevoegen: het houden van een oratie is toch wel een traditie die veel zin heeft. Immers, zij biedt de nieuwaangekomene de mogelijkheid toe te lichten welk deel van de wetenschap hij voornemens is te doceren en waarom hij het noodzakelijk acht, dat dit speciale deel gedoceerd wordt. Bij de steeds voortschrijdende specialisatie lijkt deze toelichting mij, vooral voor diegenen, die buiten het besproken, nauwe vakgebied staan, alsmede voor studenten, die aan het doceren daarvan onderworpen zullen worden, voldoende reden voor het handhaven van de traditie. Desalniettemin heeft een veertigtal studenten reeds een semester lang mijn college aanhoord, zonder voorafgaande mondelinge of schriftelijke waar-schuwing. Dit is te wijten aan de gestage stroom van nieuwe professoren, die deze groeiende hogeschool toevloet. Nu het dan mijn beurt is dit spreekgestoelte te betreden, wil ik voor U, belangstellende toehoorders, en vooral voor de jongerejaars studenten, toch alsnog een dergelijk overzicht geven.

Het onderdeel van de scheikunde, waarin ik U hoop in te leiden, heet: de fysische chemie van de vaste stof. Met het begrip „vaste stof” zijn velen Uwer vertrouwd en we richten onze aandacht dus onmiddellijk op de definitie van de fysische chemie. Deze is zeer moeilijk te geven en

vormt een onuitputtelijke bron van discussie tussen de beoefenaren van de natuurwetenschappen. Men kan zeggen: de fysische chemie is de toepassing van aan de fysica ontleende methoden van onderzoek op chemische gebeurtenissen. En onder chemische gebeurtenissen verstaan we dan die processen, waarbij een blijvende verandering in de stof optreedt. De grens voor dit chemisch gebeuren is echter moeilijk aan te geven: een proces als het smelten of het stollen ligt hier mijns inziens al in het overgangsgebied van de scheikunde en de natuurkunde. De indeling berust vaak op traditie en vertoont daardoor in verschillende landen ook vrij grote verschillen. Zo wordt bijvoorbeeld het onderzoek van de structuur van kristallen met röntgenstralen in ons land in overgrote meerderheid verricht door chemici, in Engeland echter door fysici en in de Verenigde Staten zijn er naast de scheikundigen en natuurkundigen vooral mineralogen en geologen bij betrokken. In Oostenrijk en Canada zijn deze laatsten zelfs in de meerderheid. Volgens de statistiek zijn de kristallografen in België gelijkelijk verdeeld over chemici, fysici en geologen.

Zijn dus de grenzen van de fysische chemie moeilijk vast te stellen, in de tijd dat ik aan de universiteit studeerde had men minder moeite met de indeling van de chemici, fysici en fysico-chemici. De volgende definitie deed toen opgang: „Een fysico-chemicus is iemand die te onhandig is voor chemicus en te dom voor fysicus”. Ondanks haar duidelijke eenzijdigheid kunnen we toch wel iets leren van deze omschrijving: een scheikundige stelt men zich in de eerste plaats voor als iemand, die een zeker „gevoel” in zijn vingertoppen dan wel in zijn hersenkronkels heeft. Hij kan daardoor „handig” ingrijpen in een synthetisch of analytisch proces, of het vernuftig uitvoeren. De natuurkundige daarentegen meet wel veel, maar daarnaast beheerst hij toch vooral de theorie zeer goed en hij denkt diep na over moeilijke en fundamentele problemen. Dit, voornamelijk in vroeger jaren optredende, verschil tussen de neiging enerzijds om te doen en anderzijds om te beschouwen, ligt waarschijnlijk ook ten grondslag aan het feit, dat zoveel eerder scheikundige dan natuurkundige ingenieurs zijn ontstaan.

Gelukkig kende men in de reeds genoemde tijd ook nog een andere uitspraak: „Een fysicus is iemand die heel nauwkeurig meet aan onzuivere, slecht gedefinieerde stoffen en een chemicus meet onnauwkeurig aan zuivere stoffen”. Hieruit kan men een gunstiger definitie van de fysico-chemicus synthetiseren, namelijk: iemand die met niet meer dan

noodzakelijke nauwkeurigheid zo goed mogelijk gedefinieerde stoffen bestudeert. Dit nu lijkt ons een bevredigende karakteristiek. De fysico-chemicus is niet zo zeer geïnteresseerd in zeer nauwkeurige meetmethoden, dit terrein laat hij graag over aan de fysicus en aan de analyticus, doch wel wil hij weten waaraan hij meet of onderzoek verricht en waarom het zich gedraagt zoals het doet. Dat hij daarbij toch wel weer vaak zijn toevlucht moet zoeken tot het bepalen van de laatste decimalen, is een begrijpelijk noodzakelijk kwaad. Ik hoop later nog een voorbeeld te noemen van een in dit opzicht ideaal fysisch-chemisch werkterrein.

De delen van de chemie die men gewoonlijk tot de fysische chemie rekent, zijn zeer verschillend in karakter. Naast de zeer algemene thermodynamica en de nauw ermee verwante fasenleer, vindt men daarbij takken van de scheikunde die een zelfstandig bestaan zijn gaan leiden, zoals de elektrochemie en de colloïdchemie. De bestudering van de vaste stof als speciaal onderwerp is echter pas goed begonnen na de ontdekking van VON LAUE en de toepassing hiervan door vader en zoon BRAGG, waardoor de atomaire structuur van de kristallen toegankelijk werd. VON LAUE deed zijn ontdekking in 1912, eigenlijk twee jaar te laat, anders had ik nu, in 1960, zonder hoofdbrekens een voor de hand liggende titel voor mijn oratie gehad. Zijn ontdekking moet vrijwel precies 47 jaar en 11 maanden geleden plaats hebben gevonden. Bij onze Oosterburen verrast de zorgzame echtgenoot zijn eega die deze leeftijd bereikt, met een flesje reukwater van hierop toepasselijke naam. Maar de vrees om reclame te maken deed me toch maar de minder exacte tijdsaanduiding voor de titel kiezen, namelijk: „Een halve eeuw structuuronderzoek van de vaste stof”.

Wat was nu de genoemde ontdekking van VON LAUE, die de stoot gaf tot een intensiever onderzoek van de kristallijne vaste stof? Hij ontdekte dat wanneer men röntgenstralen op een kristal laat vallen, op een fotografische plaat achter het kristal afgebogen bundels röntgenstralen een patroon van zwarte vlekken veroorzaken. Al werd het niet dadelijk ingezien, de analogie van deze afbuiging met die van lichtstralen die door een fijn rasterwerk vallen, demonstreerde het golfkarakter van de röntgenstralen en het feit, dat een kristal opgebouwd is als een driedimensionaal raster. BRAGG JR. en anderen werkten deze vondst uit tot wat men later het röntgenanalytisch structuuronderzoek van kristallen zou gaan noemen. In principe bestaat deze methode van onderzoek in het meten van de hoeken waaronder de röntgenstraling wordt afgebogen,

en van de intensiteit van ieder van de afgebogen bundels. Uit de hoeken van afbuiging kan men de grootte bepalen van de eenheidsbouwstenen, die in miljoenen aantallen in drie dimensies opeengestapeld tezamen een kristal vormen. Uit de intensiteit van de afgebogen bundels vindt men daarna de ligging van de atomen in zo'n bouwsteen. Dit laatste nu vereist, om tot een betrouwbaar resultaat te komen, een moeizaam puzzelen en rekenen, dat terecht „trial and error-methode” genoemd wordt.

Voorals toe men zich nog bezig hield met de betrekkelijk eenvoudige structuren, was dit werk dat tot het hart van de chemicus sprak. Hij mat afbuigingshoeken met een lineaal, schatte fotografische zwartingen met het oog, rekende met een gewone rekenliniaal of tabel, en vond daarmee de afstand tussen atomen die enkele 100-miljoenste delen van millimeters van elkaar lagen. De geringe relatieve nauwkeurigheid werd gedeeltelijk gecompenseerd door de veelheid van gegevens en was voldoende voor een goede beschrijving van de structuren. Helaas, de eenvoudige structuren raakten bekend en toen men belangstelling durfde te gaan tonen voor ingewikkelder structuren was het met deze gemoedelijkheid in het onderzoek gedaan. Het zal duidelijk zijn, dat het een groot verschil maakt of men de opbouw van een keukenzoutkristal met slechts natrium- en chloorionen bepaalt, of dat men op ieder van de ionplaatsen een molecuul zou hebben met vele atomen, die alle weer gelokaliseerd moeten worden. Toch zijn kristalstructuren van ingewikkelde verbindingen als peniciline en vitamine B12 opgelost en de röntgenkristallograaf droomt al jaren van het vinden van de precieze structuur van uit vele atomen opgebouwde, zéér ingewikkelde stoffen, zoals eiwitten.

Eén droom van de scheikundigen is reeds in vervulling gegaan. Sedert PASTEURS ontdekking van het feit, dat er twee vormen van de wijnsteen-zuurkristallen bestonden, die een verschillend optisch gedrag hadden, heeft men zich afgevraagd of de destijds, voor ieder van deze vormen willekeurig gekozen chemische structuren, inderdaad de juiste waren. Aanvankelijk hield men dit probleem voor onoplosbaar voor de röntgen-diffractie-methoden, doch het fraaie werk van BIJVOET en medewerkers bracht licht in dit optisch probleem. Het bleek, dat men vroeger op goed geluk de juiste keus gedaan had bij het toekennen van de configuraties aan de zogenaamde links- en rechtsdraaiende kristallen.

Inmiddels zijn echter ook de hulpmiddelen van de röntgenanalyticus uitgebreid: de elektronische rekenmachines doen hun werk zo snel, dat het

thans tot de mogelijkheden behoort allerlei waarschijnlijk geachte structuren systematisch door te rekenen. Ook kan men vergaande verfijningen in vroegere berekeningen van atoomafstanden uitvoeren. Voor een betrekkelijke eenvoudige, zogenaamde tweedimensionale fourierberekening hadden voor de oorlog twee kristallografen twee dagen nodig; zij kostte dus ongeveer dertig manuren. Een elektronische rekenmachine doet een dergelijke berekening in zo'n korte tijd, dat als men de opstelling van zijn programma redelijk meetelt, ditzelfde werk nog slechts enkele minuten duurt. De bedrijfskosten van zo'n machine zijn ongeveer \$ 5 per minuut. Hoewel de vergelijking, onder andere door de waardedaling van het geld, niet geheel juist is, zou men toch kunnen verdedigen, dat we destijds op basis van vooroorlogse assistentensalarissen, zo niet sneller, dan toch nog goedkoper werkten.

De genoemde structuuronderzoekingen hadden grote invloed op het inzicht in de eigenschappen van de kristallijne stof. Men kon uit de ideale onverstoorde stapeling van de atomen of ionen in het kristal eigenschappen afleiden en bekende verschijnselen verklaren. Nemen we als eerste voorbeeld de sneeuw kristallen. Deze kristallen, die zich vrij zwevend in de lucht hebben kunnen vormen, vertonen vaak een bijzondere schoonheid; zij werden daarom dikwijls microfotografisch afgebeeld. De symmetrische bouw van deze kristallen is duidelijk zichtbaar, al mag dan het gezegde van FRANK gelden, dat: „The average snow crystal is less symmetric than the average picture of a snow crystal”. Men onderscheidt 27 hoofdvormen in de sneeuw kristallen, en allemaal hebben ze gemeen dat ze een zestallige symmetrie vertonen. Dat wil zeggen: een regelmatige zeshoek ligt eraan ten grondslag, zodat ze bijvoorbeeld zijtakken hebben onder hoeken van 60° met elkaar. Deze symmetrie blijkt nu een afspiegeling te zijn van de zestallige symmetrie van de stapelingen der deeltjes in de elementaire bouwsteen. Als tweede voorbeeld nemen we het mineraal mica, dat in blaadjes splijt. Deze eigenschap blijkt te verklaren uit het structuurmodel: de ionen zijn gerangschikt in evenwijdige lagen, en de bindingskrachten in de lagen zijn groter dan tussen de lagen onderling. Evenzo splijt asbest vezelachtig vanwege de sterke binding in één richting in de kristallen. Maar niet alleen de mechanische eigenschappen van de kristallen zijn in verschillende richtingen verschillend, doch bijvoorbeeld ook de magnetische en elektrische verschijnselen vertonen deze eigenschap. Verder kan bijvoorbeeld de absorptie en de chemische reactie aan de verschillend gerichte vlakken van een kristal ongelijk zijn. Men noemt het optreden van deze ongelijkheid anisotropie. Deze anisotropie is van

groot belang voor de technische toepassingen van de kristallijne materialen van vaste stoffen.

De mogelijkheid om berekeningen uit te voeren of schattingen te maken over de bindingen tussen de deeltjes was een van de resultaten van de structuurbepalingen. Uit deze beschouwingen werden de kristalchemie en de kristalfysica geboren, en met instemming wil ik hier de uitspraak van LONSDALE aanhalen: „Physics owes a good deal to the X-Ray crystallographer, so do mineralogy and metallurgy. Chemistry I think owes most of all”. De volledige naam van de auteur van laatstgenoemde aanhaling is DAME KATHLEEN LONSDALE, een van de relatief zo talrijke groep vrouwen onder de vooraanstaande kristallografen van de gehele wereld, waartoe bijvoorbeeld ook onze landgenote CAROLINE MACGILLAVRY behoort.

Is door het ter beschikking komen van machines de rekentechniek in de röntgenstructuur-analyse sterk veranderd, de techniek van het meten van de intensiteiten van de verstrooide bundels ondervond ook een sterke verbetering door het gebruik van elektronische meetmethoden. De meting gebeurt dan met geigertellers en dergelijke voor doordringende straling geschikte meetapparaten.

Ik wil hier nog even verder ingaan op de technische ontwikkeling van de röntgendiffractie. Het blijkt namelijk, dat een reeds bekend principe van een instrument pas op grote schaal toepassing vindt, indien dit instrument kant en klaar te koop is. De reeds genoemde geigerteller is hiervan een voorbeeld. Een duidelijker voorbeeld echter vinden we op het gebied van camera's voor röntgendiffractiewerk. In 1926 construeerde WEISSENBERG een zogenaamde goniometercamera, waarbij de registrerende film verschoof, terwijl het kristal draaide in de röntgenbundel. Dit apparaat gaf belangrijk meer inlichtingen per opname, dan de tot toen gebruikte methoden. Het verscheen echter niet op de markt en slechts weinigen namen de moeite het na te bouwen. In de jaren dertig fabriceerde een Duitse firma een goniometercamera volgens een systeem, waarbij het draaien van het kristal gekoppeld was met een draaiende film. Dit toestel gaf véél minder inlichtingen, zowel wat aantallen röntgenreflecties, als wat hun intensiteit betreft. Omdat ze kant en klaar beschikbaar waren werden toch gedurende een vijftal jaren deze apparaten gekocht, voor ze verdrongen werden door de herontdekte weissenbergcamera. Overigens demonstreert deze gang van zaken, dat de kristallograaf zich aansluit

bij de andere chemici in zijn geringe neiging tot het bouwen van instrumenten en in zijn voorkeur om er alleen maar mee te werken.

Een laatste voorbeeld van de invloed van een apparaat op de ontwikkeling van een tak van onderzoek brengt ons op het terrein van de identificatie van kristallijne stoffen. De afbuigingshoeken en de intensiteit van de door een kristalpoeder verstrooide röntgenbundels zijn namelijk karakteristiek voor de structuur en samenstelling van de onderzochte kristallen. Op enkele uitzonderingen na, bijna zo karakteristiek als de vingerafdrukken zijn voor de individuele mens. Talloos zijn de problemen op dit gebied in wetenschap en techniek, die door dit identificatiemiddel konden worden opgelost. Deze methode betekent een belangrijke aanvulling van de chemische analyse en bovendien gaat het preparaat, waarvan maar zeer weinig nodig is, niet verloren. De aanvulling op de chemische analyse laat zich goed demonstreren aan enkele voorbeelden. Het eerste is de kristallijne koolstof. Het zachte grafiet van onze potloodstiften en het hardste aller mineralen, diamant, bestaan chemisch beide uitsluitend uit koolstof. Hun röntgendiffractiepatronen echter zijn geheel verschillend. Dat men er enkele jaren geleden in geslaagd was werkelijk synthetisch diamant te bereiden bleek uit het diffractiediagram van het produkt. De resultaten van de vroeger door MOISSAN ondernomen pogingen konden destijds niet op zo eenvoudige wijze op de proef worden gesteld. Het bergkristal, chemisch bestaande uit siliciumdioxide, kan men smelten bij ongeveer 1800° C en daarna afkoelen; er ontstaat dan het zogenaamde kwartsglas, dat de ongeordende bouw behouden heeft van een vloeistof, doch dat door onderkoeling hard en vast geworden is. Men noemt dit de amorfte vaste toestand; en deze komt voor bij de glazen en sommige hoogpolymere stoffen. Zowel van het kristallijne kwarts, als van het kwartsglas kan men voorwerpen maken, die er identiek uitzien en die dezelfde chemische samenstelling hebben. Het kristallijne voorwerp zou echter bij 570° C, waar het kristal overgaat in een andere vorm, stuk springen, terwijl het glazen voorwerp juist zeer goed bestand is tegen hoge temperaturen. Door middel van de röntgendiffractie kan men beide vormen van de vaste stof duidelijk onderscheiden aangezien slechts het kwarts met zijn kristallijne opbouw een normaal diffractiepatroon geeft. In dit verband mag gewezen worden op het slordig taalgebruik, waarbij men spreekt van een voorwerp van kwarts, terwijl men kwartsglas bedoelt. Het kwantitatief diffractieonderzoek naar kristallijn siliciumdioxide is een waardevol wapen geworden bij de bestrijding van de gevreesde mijnwerkers- en steenhouwersziekte, de silicose.

Ook voor reacties in de vaste fase is deze röntgendiffractie-methode van groot belang. Verhit men bijvoorbeeld mengsels van verschillende oxyden, dan kunnen tegelijk verschillende produkten ontstaan, die chemisch-analytisch moeilijk te determineren zijn. Immers de totale chemische samenstelling van het mengsel blijft constant. Doch in het röntgendiffractie-patroon van het produkt kan men de nieuwe componenten met hun eigen karakteristieke afbuigingsrichtingen terug vinden en zelfs kwantitatief bepalen.

Al deze onderzoeken die op identificatie en kwantitatieve bepaling berusten zijn sterk gestimuleerd door de ontwikkeling van een snel en nauwkeurig werkend instrument: de diffractometer. Dit apparaat maakt het thans voor vele onderzoekers mogelijk zonder specialistische scholing niet te ingewikkelde identificatieproblemen op te lossen.

Na dit uitstapje naar de instrumentele kant van de röntgendiffractie, willen we terugkeren naar de resultaten die bereikt zijn met het bestuderen van de structuren der vaste stoffen.

Met opzet spreek ik thans van vaste stoffen en niet van kristallen. Niet dat de meeste nu te bespreken onderzoeken niet betrekking zouden hebben op kristallijne stoffen. Maar terwijl we in onze beschouwingen gedaan hebben alsof de kristalroosters een strikt regelmatige bouw hadden, blijkt die strikte regelmatigheid in de vaste stoffen op zichzelf bijna een afwijking te zijn: zij is zeldzaam. Maar zoals ook in het dagelijks leven, het zijn vaak de kleine afwijkingen van de strakke periodiciteit, die belangrijk zijn. Zowel bij de mensen als bij de kristallen leveren deze afwijkingen de interessantste stof voor gesprekken en discussies. Ik haast mij echter te verklaren, dat een propageren van wanorde, of zelfs onordelijkheid, of het afwijken van goede orde in het dagelijks leven, verre van mij is. Een afschrikwekkend voorbeeld van het effect van slechts kleine onregelmatigheden in de kristallen laat ik dan ook meteen volgen.

Wanneer men uitrekent hoe sterk een ideaal gebouwde kristal wel zou moeten zijn, door de verschillende erin heersende krachten te sommeren, dan komt men tot waarden die de best gebouwde kristallen bij lange na niet kunnen halen. Behalve in het geval, waarin ze heel klein zijn, bijvoorbeeld één duizendste mm dik en slechts enkele duizendste mm lang, zogenaamde „whiskers”. Hier gaat de analogie met de mens weer op: de zeer kleine kristallen hebben nog geen ruimte voor fouten. Zijn ze

echter iets groter geworden — en dit geldt zowel voor de whiskers als voor de baby's — en ondergaan ze een geringe vervorming door uitwendige krachten, dan zijn ze hun foutloosheid kwijt en hebben daarmee ook hun sterkte verloren. Deze fouten noemt men dislocaties, in het kristal althans. Ze zijn op theoretische gronden door onder anderen TAYLOR en BURGERS voorspeld en zij vormden de laatste jaren het onderwerp van intense theoretische en experimentele studie. Ze zijn immers niet alleen van groot belang voor de mechanische eigenschappen, maar ook voor fysisch-chemische processen als kristalgroei en kiemvorming, diffusie en andere aspecten van de reacties in de vaste fase. Na de theoretische voorspelling zijn ze, of althans hun afspiegelingen, werkelijk „ontdekt en gezien”. In een filmopname die met behulp van een elektronenmicroscopioop gemaakt werd door HIRSCH en medewerkers kan men ze zelfs zien bewegen op dezelfde wijze als theoretisch voorspeld werd. En bij de kristalgroei voorspelde FRANK, dat sommige dislocaties aanleiding zouden geven tot spiraalvormige groeifiguren, die na deze voorspelling ook in groten getale op de kristallen ontdekt zijn. Ook op dit gebied blijkt de röntgendiffractie niet machteloos te staan. Trouwens reeds zeer lang had de röntgenanalyticus aangenomen, dat een kristal gewoonlijk uit vele mozaïekblokjes, en dus met fouten, opgebouwd was.

Een andere zeer veel voorkomende onvolmaaktheid in het kristal zijn de lege roosterplaatsen, of vacatures, zoals ze meen ik het eerst door VERWEY genoemd zijn. Hier ontbreekt dus in de regelmatige stapeling van atomen of ionen één deeltje op bijvoorbeeld miljoen deeltjes. Dit op zichzelf kleine foutje is uiterst belangrijk voor vele eigenschappen van het kristallijne materiaal. Deze open plaatsen zijn enigszins vergelijkbaar met open velden in het schaak- en damspel en ze zijn ons zeker aangenamer dan vacatures in een personeelsbezetting. Ze zijn thans zo belangrijk voor onze beschouwingen, dat onlangs W. G. BURGERS nog opmerkte, dat het er wel eens op lijkt of men de werkelijk aanwezige atomen in het vuur van de discussie vergeet!

We willen nog even verder gaan met het bespreken van perfecte en minder ideale kristallen. Was een whisker sterk, een groter stukje metaal, bijvoorbeeld koper dat uit één kristal bestaat, is bepaald week. Het is in zachtheid met een staafje stevige fondant te vergelijken. Dit is het gevolg van een betrekkelijk gering aantal dislocaties. Zijn er echter méér fouten in het kristal dan wordt het weer sterker. Een normaal stukje koper van gelijke afmetingen als het genoemde kristal, dat echter uit vele kleine

kristalletjes bestaat, en dus eigenlijk heel veel fouten heeft ten opzichte van de regelmatige bouw van een enkel kristal, is dan ook veel en veel sterker dan een enkristal. Niet alleen de kristalletjes, maar ook hun grenzen en wat zich eventueel op deze grenzen bevindt, is belangrijk voor de sterkte van het materiaal. In tegenstelling met naties geldt voor kristallijne materialen, dat hoe kleiner de afmetingen van ieder hunner delen en hoe langer hun onderlinge grenzen, hoe sterker ze vaak zijn.

Dat de atoomstapelning van de enkele kristalletjes niet geheel de macroscopische eigenschappen van een conglomeraat bepaalt, kan men aan den lijve ondervinden aan de reeds genoemde sneeuwkrystallen, als men de aanraking door een zachte sneeuwvlok vergelijkt met de kennis-making met een hard geknede sneeuwbal. Of, in een mij dierbare alpine vergelijking enerzijds de badkuip, die een skiër vroeger bijna tot zijn genoegen in de ongerepte metersdiepe sneeuwlaag viel, en anderzijds de smak die hij kan maken op de hedendaagse, door de te vele skiërs keihard geworden afdaalroutes. Het is dus ook zeer belangrijk hoe het materiaal weer is samengesteld uit kristalletjes, waarvan we de structuur hebben leren kennen. Bovendien kan de opbouw van het polykristallijne materiaal, evenals bij de sneeuw, veranderen door de zogenaamde rekristallisatie. Daarbij worden de oorspronkelijke kristallen vervangen door kristallen die groter zijn en vaak anders zijn gericht. Deze gerichtheid, van de kristalletjes, textuur van het materiaal genoemd, is bijzonder belangrijk voor het verwerken van metalen maar is ook op geheel andere gebieden van grote betekenis.

Liggen de kristallen in een vaste stof geheel willekeurig gericht, dan vindt men in alle richtingen voor de eigenschappen een gemiddelde waarde. De stof zal, bijvoorbeeld bij verwarming, in alle richtingen evenveel uitzetten. Ook zal dit materiaal in alle richtingen de elektriciteit even goed geleiden en het wordt aan alle kanten even sterk aangetast door corrosie. Liggen de kristallen echter bij voorkeur in een bepaalde stand in het polykristallijne materiaal, dan komt de anisotropie van ieder van de kristallen meer of minder tot uiting.

Zoals we reeds zeiden kan deze gerichtheid en de grootte van de kristallen een gevolg zijn van rekristallisatie. Deze laatste kan men beïnvloeden met behulp van de manier van verwerken, bijvoorbeeld de verhitting, of door een geringe hoeveelheid andere stoffen aan het materiaal toe te voegen. Een praktische toepassing van de beheersing der rekristallisatie met het oog op de materiaaleigenschappen vinden we in het moderne blik voor transformatorkernen. Men is in staat kernen te maken,

die geringe verliezen in elektrische energie veroorzaken, doordat men onder andere door bepaalde toevoegingen de wijze waarop de kristallen zich richten, heeft leren beheersen. Het zou verder onmogelijk zijn een moderne gloeilamp te maken, als men niet in staat was de rekristallisatie van de gloeispiraal van wolfram op een zeer bijzondere manier te laten verlopen. Door toevoeging van geringe hoeveelheden chemicaliën, en een speciale bewerking, bereikt men hier dat in de wolframdraad zeer grote kristallen groeien, die onderling lange grenzen hebben. Daardoor zullen deze kristallen niet gemakkelijk langs elkaar kunnen schuiven, wat tengevolge zou hebben dat het gloeilichaam zou doorbranden.

In het voorgaande was sprake van verontreinigingen, die zich in het algemeen aan de grenzen van de kleine kristalletjes als tweede fase in de materialen bevonden. Zeer belangrijk zijn echter ook de kleine hoeveelheden vreemde atomen, of ionen, die in het rooster van de regelmatig gestapelde deeltjes zijn opgenomen. Soms nemen ze daar rustig de plaats in van de autochtone deeltjes zonder dat men veel effect van deze verwisseling bemerkt. In andere gevallen echter verstoren ze dusdanig de harmonie van de regelmatige stapeling, dat ze van doorslaggevende invloed zijn op bepaalde eigenschappen. Een vergelijking met de zogenaamde minderheden in de mensenwereld dringt zich onwillekeurig op. Voorbeelden van de belangrijkheid van dergelijke ingebouwde vreemde deeltjes vindt men bij de transistoren. Bij de fluorescentiestoffen, zoals men die tegenwoordig gebruikt in fluorescentielampen en voor televisieschermen, bepalen kleine hoeveelheden toevoegingen de kleur van het fluorescentielicht en de duur van het nalichten. Zowel de fysico-chemicus als de fysicus maakt bij het bestuderen en verklaren van deze verschijnselen onophoudelijk gebruik van de kristalstructuur van deze verbindingen.

Dames en Heren,

Natuurlijk mag het in kort bestek gegeven overzicht van de fysisch-chemische aspecten van de vaste stof, aanspraak maken op de traditionele kwalificatie: „verre van volledig”. De leek op dit gebied zal daar zeker aan toevoegen: „verre van begrijpelijk”, of zelfs „volledig onbegrijpelijk”. De hedendaagse aandachtige krantelezer weet echter zoveel van de atoombouw en wat dies meer zij, dat hij allicht enkele bekende termen zal zijn tegengekomen. De lezer van de „science fiction” staat

echter voor niets meer en hij zal zeker vragen wat de toekomst op dit gebied zal brengen.

De kennis van de bouw van de vaste stof zal van groot belang zijn voor de ontwikkeling van allerlei praktisch bruikbare materialen. Maar blijven we leven in het tijdperk van de metalen, of wordt het werkelijk een tijdperk van plastics, zoals men vaak meent? Anderen voorspellen zelfs een tijdperk van het glas. Het meest waarschijnlijke is, dat ieder van de verschillende categorieën zijn eigen toepassingsgebied zal vinden. Dat er grote belangen gemoed zijn met het vinden van nieuwe materialen, is duidelijk. Van sommige, bijvoorbeeld koper, zijn de wereldvoorraden zeer beperkt en men zal naar vervanging moeten uitzien. Op velerlei gebied zoekt men naar de ideale stof voor een reeds bestaand probleem. Maar het aantal nieuwe problemen neemt zo sterk toe, men denke slechts aan terreinen als atoomenergiecentrales, ruimtevaart enz., dat het gevaar bestaat, dat niet voldaan zal kunnen worden aan de steeds dringender vraag om nieuwe materialen.

Het zoeken naar nieuwe stoffen of toepassingen kon in de afgelopen eeuwen geheel empirisch gebeuren. Het toeval, al dan niet geholpen door een geniale inval, maar zeker gevolgd door een geniale uitbuiting van dit toeval, voorzag in voldoende uitvindingen. Daar de reeds genoemde, de toevoeging aan het wolfram voor de gloeispiraal toevallig gevonden werd, zou men met enig overdrijven kunnen zeggen, dat aan dit toeval, en de grootse uitwerking daarvan, wereldindustrieën hun ontstaan te danken hebben. Maar noch voor de nieuwe materialen, noch voor de werkgelegenheid mag men zijn vertrouwen uitsluitend baseren op het toeval. We kunnen ons ook niet meer de weelde veroorloven de research op een lukraak-basis te bedrijven en te hopen dat uit een enorm aantal willekeurig gedane proeven altijd wel iets bruikbaar te voorschijn zal komen. Onze kennis, en vooral ook fundamentele kennis, zal zich zo moeten uitbreiden, dat steeds meer bewust gericht onderzoek plaats kan vinden, en de fundamenten voor deze kennis zullen thans bij onze toekomstige researchwerkers moeten worden gelegd. Een steentje aan deze fundamenten, of in vaktermen sprekend, een elementaire cel aan deze kristalkiem toe te voegen, zal mijn taak zijn in het kader van de opleiding tot scheikundige aan deze Technische Hogeschool.

Zeer geachte Dames en Heren,

Aan het einde van mijn toespraak gekomen, zij het mij vergund enkele

woorden van dank te spreken. In de eerste plaats moge ik mijn eerbiedige dank betuigen aan *Hare Majesteit Koningin Juliana*, omdat Zij mij heeft willen benoemen tot hoogleraar aan deze Technische Hogeschool.

Mijne Heren Curatoren,

In de korte tijd dat ik met U contact mocht hebben, is mij reeds duidelijk geworden, hoeveel tijd en moeite gij besteedt aan het leiding geven aan onze Hogeschool. Vooral in deze periode van ontwikkeling en opbouw is Uw verantwoordelijkheid groot. Dat U, die de belangen van deze instelling zo na aan het hart hebt liggen, mij een deel van de opleiding hebt willen toevertrouwen, voel ik als een bijzondere onderscheiding. Naar beste kunnen zal ik ernaar streven Uw vertrouwen waardig te zijn.

Mijne Heren Hoogleraren en Adviseurs,

Reeds verscheidene keren is van deze plaats in oraties de prettige sfeer welke tussen U heerst, geroemd. Maar dit is de eerste oratie waarin gezegd wordt, dat herhaaldelijk in oraties gezegd is, dat herhaaldelijk in oraties gezegd werd, dat U een nieuwaangekomene op vriendschappelijke wijze tegemoet pleegt te treden. Dit kunnen geen nietszeggende algemeenheden zijn, want zoiets zou men van zoveel hoogleraren nauwelijks mogen verwachten. De eenstemmigheid is verder ook zeer zeldzaam voor een groep individualistische beoefenaren van de wetenschap. Het is mij duidelijk geworden, door persoonlijke ondervinding, dat geciteerde prettige omstandigheden zó sterk naar voren treden, dat hiermede de unanimiteit van de uitlatingen uitstekend verklaard kan worden. Niet slechts dat het binnentreden in Uw kring een aangename ervaring was, ik reken het ook tot een eer thans een der Uwen te zijn en mee te mogen werken aan ons aller taak. Het feit dat de Technische Hogeschool nog volop in ontwikkeling is en er dus veel tijd gegeven moet worden aan zowel de materiële als de geestelijke opbouw, verzwaart onze taak wel, doch is toch ook een extra aantrekkelijkheid.

Mijne Heren leden van de afdeling der scheikundige technologie,

Wel speciaal voor U gelden mijn zo juist gesproken woorden van dank voor de prettige ontvangst die mij ten deel viel. Uw behoefte om op amicale, informele wijze van gedachten te kunnen wisselen, heeft geleid tot het instellen van Uw wekelijkse afdelingslunch, een instelling waarom andere afdelingen U benijden. Nooit zijn bij deze bijeenkomsten con-

flicten ontstaan over de soms moeilijke verdeling van broodjes en fruit. Ik ben ervan overtuigd, dat de gedeeltelijke, tijdelijke spreiding over verschillende gebouwen als ontbindende factor onbelangrijk zal zijn ten opzichte van Uw wens om elkaar geregeld te ontmoeten. De hulp die ik van U mocht ontvangen bij het enigszins overhaast beginnen van mijn onderwijstaak in een in aanbouw zijnd laboratorium, is een bewijs van Uw medeleven met elkanders problemen. Voor deze hulp betuig ik gaarne mijn grote erkentelijkheid.

Waarde, Hooggeleerde BIJVOET,

Nogmaals, na de regels in het voorwoord van mijn proefschrift, ben ik in de gelegenheid U in het openbaar te bedanken voor hetgeen U gedaan hebt voor mij persoonlijk en voor mijn wetenschappelijke vorming. Via de universitaire leerstoelen die door Uw leerlingen bezet zijn, profiteren reeds vele studenten van door U geïnspireerde wetenschap. Ditzelfde zal ik nu in een meer technische sfeer trachten te bereiken. Uw invloed zal onmiskenbaar aanwezig zijn. Immers, een collega, niet-vakgenoot, die een lezing van U had bijgewoond, zei tegen mij: „Jij bent net een blauwdruk van Bijvoet”. Ik heb dit een groot, doch niet verdiend compliment gevonden.

Mijne Heren Directeuren, oud-collega's en oud-medewerkers van de N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken,

Na de officiële universiteit doorlopen te hebben, heb ik nog achttien jaar college en practicum gevolgd aan een andere, niet officiële universiteit, gevestigd te Eindhoven in de gebouwen van de zogenaamde „grote gloeilampenfabriek in het zuiden des lands”. Voor alles wat ik hier geleerd heb van al diegenen, waarmee ik in contact kwam, van weekloners tot directieleden, ben ik zeer dankbaar. Temeer daar ik, in plaats van collegegelden te betalen een studieloon, of liever met de U bekende nuance, een studiesalaris ontving.

Alle leden van de Directie van het Natuurkundig Laboratorium, maar in het bijzonder U, zeer geachte VERWEY, ben ik zeer veel dank verschuldigd voor de wijze, waarop op de juiste momenten steeds ongevraagd werd ingegrepen om mij als de omstandigheden moeilijk waren, te hulp te komen of een nieuwe weg te wijzen. Ik prijs mij gelukkig U, geachte VERWEY, hier in Uw functie van Adviseur geregeld te ontmoeten en aldus te kunnen profiteren van Uw visie op wetenschappelijke en educatieve problemen.

U, Vrienden van het Natuurkundig Laboratorium moet ik allen mijn erkentelijkheid betuigen voor de bijzonder prettige werkomgeving welke U tien jaren voor mij geweest zijt. Ik wens U toe, dat U in staat zult zijn, ondanks de groei van Uw laboratorium, de er nu heersende unieke sfeer te handhaven. Het feit dat ik U geografisch in de nabijheid weet, is mij thans een grote steun. Ik hoop nog vaak mijn licht bij U te mogen komen opsteken.

Dames en Heren studenten,

Van het doceren en het beoefenen van de wetenschap kan ik zeggen: „entre ces deux mon cœur balance”. Maar met hoeveel hart ik U ook hoop voor te lichten, het is onvermijdelijk dat er bij de behandeling van de vaste stof ook veel droge stof zal zijn, en misschien zelfs taaie stof, die zwaar op de maag ligt. Mijn streven zal zijn, deze taaie, droge, vaste stof voor U verteerbaar te maken en hopelijk zelfs enigszins smakelijk. De geestrijke, dun vloeibare fase kan ik er U op het college helaas niet bij verstrekken; deze zal slechts de beloning zijn voor diegenen onder U, die mij vanmiddag hebben willen aanhoren.

Gelukkig is in de sectie voor fysische chemie reeds een kleine, doch enthousiaste en kundige groep medewerkers aanwezig, die U en mij tot steun zullen zijn.

Mijn ideaal is U niet alleen in te leiden in de kennis van de nuchtere feiten betreffende de vaste materie, maar U ook nog iets anders te leren beleven. Zo hoop ik, dat U voldoening zult leren smaken van een geslaagde bereiding of analyse of meting, van het registreren van een fraai verloopende kromme, van het waarnemen van een bijzonder verschijnsel en vooral van de verklaring hiervan. Dan zal ook de op zichzelf moeizame weg daarheen U niet meer zwaar vallen, neen zelfs attractief lijken. U kunt het vergelijken met de bestijging van een berghelling terwille van het uitzicht of de afdaling, of met de fotografische handelingen zoals scherpen, ontwikkelen en afwerken terwille van een fraai plaatje.

Ik zou U willen wijzen op de schoonheid van een formatie natuurlijke kristalvlakken aan bergkristal. Het vinden van enkele zeldzaam voorkomende vlakjes geeft een gevoel dat niet te vergelijken is met het kijken naar een kunstmatig eraan geslepen vlak. Anderzijds dient U echter niet te vergeten, dat een diamant zijn fraaie schittering pas vertoont na een geslaagde technische bewerking.

Er is nog meer dat bij U geactiveerd behoort te worden gedurende Uw

studie, onder andere common sense, neiging tot onderzoek en vooral ook het kritisch en zelfstandig denken, niet meer aan de leiband van Uw leermeesters. En tenslotte dan Uw verantwoordelijkheid Uw kennis zoveel als in Uw vermogen ligt te gebruiken tot heil en welzijn van de mensheid. Ik zou dit willen samenvatten als volgt: om een waardevol mens te zijn is meer nodig dan goed te weten hoe bijvoorbeeld de structuren van silicaten en kleimineralen zijn. Of om de woorden te gebruiken, waarmee de te vroeg omgekomen ANTOINE DE SAINT EXUPÉRY zijn boek *Terre des Hommes* besluit: „Seule l'Esprit s'il souffle sur la glaise peut créer l'Homme”.

Ik heb gezegd.