

RÖNTGEN- EN ELECTRONEN-
STRALEN ALS HULPMIDDEL BIJ
HET CHEMISCH EN
METALLOGRAFISCH ONDERZOEK

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING
VAN HET AMBT VAN HOOGLEERAAR
AAN DE TECHNISCHE HOOGESCHOOL
TE DELFT OP 15 JANUARI 1940

DOOR

W. G. BURGERS.

GEDRUKT BIJ DRUKKERIJ WALTMAN, KOORNMARKT 62, DELFT.

Mijne Heeren Curatoren, Professoren, Lectoren, Dames en Heeren Privaatdocenten, Assistenten en Studenten dezer Technische Hoogeschool, voorts Gij allen, die deze plechtigheid met Uw tegenwoordigheid vereert,

Zeer geachte Toehoorders,

„De meest opvallende verandering, die iemand treft, wanneer hij de literatuur uit het begin van deze eeuw vergelijkt met een handboek der physische chemie uit onzen tijd of zelfs met een modern leerboek voor het middelbaar onderwijs, is ongetwijfeld die omtrent het inzicht in de structuur der materie”. Met deze woorden ¹⁾, uitgesproken door mijn ambtsvoorganger bij de aanvang van zijn afscheidscollege als docent in de physische scheikunde aan deze hoogeschool, zal wel een ieder het eens zijn, die zich met de ontwikkeling van natuur- en scheikunde in dit tijdvak heeft beziggehouden.

In het bijzonder is daarbij de groote beteekenis, die het röntgenografisch onderzoek en in latere jaren het onderzoek met kathodestralen voor het verkrijgen van inzicht in de structuur der materie, gehad heeft en nog in volle mate heeft, algemeen bekend. Deze erkenning blijkt ook uit de inhoud van eenige oraties en openbare lessen, door nieuw benoemde docenten in de scheikunde uitgesproken. Zoo noemt VAN ARKEL ²⁾ in zijn rede: „Nieuwere inzichten in de scheikunde” onder de experimenteele hulpmiddelen, waaraan de chemie in de laatste jaren ontzaglijk veel te danken heeft, in de eerste plaats de röntgenanalyse, KETELAAR ³⁾ spreekt bij de aanvaarding van zijn lessen in Leiden over „Röntgenanalyse en Chemie”, en ook in de voor weinige weken door BIJVOET ⁴⁾ bij de aanvaarding van het professoraat in de algemeene en anorganische chemie te Utrecht uitgesproken rede: „Wegen, Meten, Tellen”

¹⁾ W. Reinders, Chemisch Weekblad 36, 446, 1939.

²⁾ A. E. van Arkel, Nederl. Tijdschrift voor Natuurk. 1, 273, 1934.

³⁾ J. A. Ketelaar, Chemisch Weekblad 33, 648, 1936.

⁴⁾ J. M. Bijvoet, Centen, Amsterdam, 1939.

treedt het groote aandeel van het röntgenografisch onderzoek voor de kennis van chemische verbindingen naar voren.

Wanneer ik het hedenmiddag dan ook waag, ook mijnerzijds over de beteekenis van deze methoden van onderzoek voor de scheikunde te spreken, zoo loop ik het gevaar, van het goede iets te veel te geven. Ik ben mij dit gevaar wel bewust en wil dan ook beginnen met te zeggen, dat niets mij verder ligt, dan te denken, dat het structuuronderzoek met röntgen- en electronenstralen het α en ω is, waarvan alleen heil voor de verdere ontwikkeling van het scheikundig inzicht te verwachten is. Integendeel, het diffractie-onderzoek heeft als elk ander hulpmiddel een beperkt gebied van toepassing en kan in het algemeen slechts in verbinding met en als aanvulling van andere methoden van onderzoek zijn kracht volledig ontplooiën en tot vermeerdering van inzicht voeren. De reden, dat er, naar ik meen, nog plaats is voor een beschouwing van de mogelijkheden, welke het röntgenografisch onderzoek biedt, is deze, dat in de genoemde verhandelingen in hoofdzaak slechts die resultaten naar voren zijn gebracht, welke op het gebied der eigenlijke kristalstructuuranalyse verkregen zijn, dat wil dus zeggen, betreffende de wijze van rangschikking der atomen en eventueel der moleculen in de kristallen van elementen of verbindingen. Over de langs deze weg bepaalde structuren en hun samenhang met de aard der bindingskrachten tusschen de opbouwende atomen eenerzijds en met de eigenschappen der kristallen anderzijds zal ik dan ook hier niet verder uitweiden. Alleen wil ik opmerken, dat deze resultaten in het algemeen slechts verkregen kunnen worden door onderzoekers, welke met de kristallografische grondslagen der structuurleer volkomen vertrouwd zijn en zich op dit gebied gespecialiseerd hebben.

Mij staat echter voor oogen, Uw aandacht te vragen voor de mogelijkheden, welke het röntgenografisch onderzoek ook buiten het gebied der eigenlijke kristalstructuuranalyse den chemicus en metalograaf bij de bestudeering van vraagstukken van verschillende aard biedt, en waarbij in vele gevallen een zoo ver doorgevoerde kristallografische kennis als voor de structuuranalyse vereischt, niet noodig is. De bedoelde mogelijkheden berusten hierop, dat het diffractie-onderzoek van een stof in principe gegevens kan verstrekken zoowel betreffende de kristallijne toe-

stand, waarin zij verkeert als betreffende haar chemische samenstelling. Onder kristallijne toestand wordt hierbij bijv. verstaan de vraag, of de stof uit groote of kleine kristalblokken is opgebouwd, verder die naar de volmaaktheid en ook de ligging der kristalblokken in een bepaald materiaal. Ook behoort hiertoe het vaststellen van veranderingen in de rangschikking der atomen in een bepaalde legering of verbinding, welke het gevolg van een warmtebehandeling zijn.

Voor ik de beteekenis van deze mogelijkheden aan de hand van eenige concrete voorbeelden nader toelicht, zij het mij vergund, in het kort uiteen te zetten, langs welke weg de genoemde gegevens verkregen worden. Daartoe zij er aan herinnerd, dat de atomen, waaruit een kristal is opgebouwd, in een „ideaal” kristal op regelmatige wijze gerangschikt zijn volgens elkaar doorsnijdende scharen van evenwijdige vlakken, de kristalroostervlakken, waarbij elke schaar een bepaalde afstand tusschen twee opeenvolgende vlakken bezit. Voor een gegeven kristal zijn vanzelfsprekend al deze roostervlakkenafstanden vastgelegd, evenals de hoeken tusschen de verschillende elkaar doorsnijdende vlakkenscharen.

Valt nu een bundel röntgen- of electronenstralen op een kristal, dan worden deze stralen door de atomen in alle richtingen verstrooid. Tengevolge van interferentie tusschen de verstrooide stralen treedt een merkbare intensiteit slechts in zeer bepaalde richtingen op, waarbij het voor ons voorstellingsvermogen gemakkelijker is, dat deze richtingen beschreven kunnen worden als diegenen, waarin de opvallende stralenbundel zou worden teruggekaatst, indien de roostervlakken spiegels waren.

Het is dus zonder meer duidelijk, dat een kristal bij doorstraling met röntgenlicht in een bepaalde richting tot een zeer bepaald patroon van stippen op een op eenige afstand achter het kristal geplaatste fotografische plaat aanleiding zal geven. Uit dit patroon kan, tengevolge van de zoojuist genoemde eenvoudige spiegelbetrekking, de stand van het kristalrooster t.o.v. de richting van doorlichting worden afgeleid.

Voor het tot stand komen van een dergelijke röntgenfoto is de uitwendige begrenzing van het kristal tot op zekere hoogte onverschillig. Bestraalt men dus een willekeurig praeparaat, hetwelk in het algemeen uit een samenstel van grootere of kleinere

kristallijne brokstukken met willekeurige begrenzing bestaat (men spreekt in dit verband veelal van kristallieten), zoo zal ieder dezer gebieden tot een dergelijke stippenfoto aanleiding geven. Zijn de individueele kristallieten zoo klein, dat de opvallende röntgenbundel er meerdere tegelijk treft (en dit is bij een doorsnede van de röntgenbundel van bijv. $\frac{1}{2}$ mm bij de meeste gewone materialen het geval), dan zal de röntgenfoto als het ware een superpositie van een groot aantal afzonderlijke stippen-patternen vertoonen. Het ontstane beeld zal echter afhangen van de ligging der kristallieten in het onderzochte praeparaat: vertoonen deze, wat de oriëntatie van hun kristalrooster betreft, geenerlei voorkeur, dan liggen de stippen over de geheele foto meer of minder gelijkmatig verspreid. Nemen de kristallieten echter bepaalde voorkeursstanden in, terwijl andere standen ontbreken, d.w.z., vertoont het praeparaat een textuur, dan zijn de stippen in bepaalde groepjes opgehoopt, waarbij elk groepje aan kristalroostervlakjes van dezelfde „soort” beantwoordt, die tot kristallieten met bijna samenvallende oriëntatie behooren. Wederom kan tengevolge van het eenvoudige spiegelverband tusschen stip en kristalroostervlak de gemiddelde stand van deze kristallieten t.o.v. de opvallende röntgenbundel, en dus t.o.v. de begrenzing van het praeparaat, d.w.z. het kristallografisch karakter der textuur, worden vastgesteld.

Verder zal het duidelijk zijn, dat het aantal stipjes op de foto toe zal nemen met het aantal kristallieten, dat bij de doorstraling getroffen wordt; tegelijkertijd zal de grootte van ieder stipje, die onder bepaalde omstandigheden een maat voor de grootte van het spiegelende roostervlak is, daarbij kleiner worden. Zoo kunnen uit de stippenfoto ook gegevens over de kleinheid der kristallieten in een praeparaat worden afgeleid, dus worden vastgesteld, in hoeverre men met een fijn- dan wel een grofkristallijn praeparaat te maken heeft.

Tenslotte doet de opvatting van het ontstaan der stippen op de foto als een gevolg van spiegeling aan kristalroostervlakken ook verwachtten, dat de röntgenfoto iets moet kunnen zeggen over de volmaaktheid van het doorstraalde kristal of de afzonderlijke kristallieten, waaruit een praeparaat bestaat. Veelal zijn nl. de kristallieten zelf weer opgebouwd uit kleine gebiedjes, die niet

volkomen parallel liggen, maar onder kleine hoeken aan elkaar sluiten. In elk kristal is dit al tot op zekere hoogte tengevolge van fouten gedurende het groeiproces e.d. het geval. In veel sterkere mate treedt het verschijnsel op in plastisch vervormde kristallen, waar tengevolge van het verschuiven van kristaldeelen langs elkaar gemakkelijk verdraaiingen en verbuigingen van kristalroostervlakken over 10° en meer kunnen optreden. In dergelijke kristallen werken de roostervlakken t.o.v. het röntgenlicht niet als vlakke spiegels, maar als gebogen spiegels. Evenals een fijne lichtstraal bij weerkaatsing aan een gebogen spiegel tot een streep of anderszins wordt uitgerekt (een ieder uit de lachspiegels op de kermis welbekend), zoo zal ook de reflectie der röntgenstralen aan dergelijke gebogen roostervlakken tot uitgerekte stippen aanleiding geven, waarvan de lengte en de richting ons iets over de aard der kristalonvolkomenheid kan leeren.

In het voorgaande is stilzwijgend verondersteld, dat elk roostervlak onder welke hoek ook getroffen, röntgenstralen kan reflecteren. Dit is echter alleen het geval, indien de op het praeparaat vallende straling een geheel spectrum van golflengten omvat. Een dergelijke zoogenaamde „witte” röntgenstraling wordt door iedere röntgenbuis in zekere mate uitgezonden. Anders is het echter, indien de gebruikte straling monochromatisch is, zooals deze in de praktijk door geschikte keuze van anode materiaal en aan de buis gelegde spanning, gecombineerd met het gebruik van bepaalde filters, gemakkelijk verkregen kan worden. In dit geval is het aantal stippen op de foto's ceteris paribus aanmerkelijk kleiner.

Dit hangt samen met het feit, dat de „spiegeling” der röntgenstralen, anders dan de normale spiegeling van zichtbaar licht, geen oppervlakte effect is, maar aan de geheele schaar van aan elkaar evenwijdige roostervlakken plaats vindt. Zal de gespiegelde straal een waarneembare intensiteit hebben, dan moeten al deze reflecties elkaar door interferentie versterken en dit is voor een bepaalde roostervlakkenafstand en een gegeven golflengte slechts onder zeer bepaalde hoeken mogelijk. Bij overgang van polychromatisch op monochromatisch röntgenlicht vallen dus alle stippen weg, die door spiegeling van andere dan de gekozen golflengten ontstaan waren. De overgebleven stippen liggen op zeer overzichtelijke wijze in cirkels om de centrale stip gerangschikt, iedere cirkel be-

antwoordende aan een bepaalde spiegelhoek, en dus aan een bepaalde roostervlakafstand. Aangezien, zooals reeds besproken, bij een gegeven kristal een zeer bepaalde groep van roostervlakkenafstanden behoort, is het cirkel-patroon voor het beschouwde kristalrooster karakteristiek en in het algemeen voor elk kristal verschillend. Zoo kan de monochromatische röntgenfoto op eenvoudige wijze ter indentificatie van een verbinding gebruikt worden. Daarnaast echter kan dit diagram andere waardevolle inlichtingen verschaffen. Omdat nl. de diameters der stippenringen direct met de roostervlakkenafstanden gekoppeld zijn, zal een geringe verandering in die afstanden zich in een overeenkomstige verandering der ringdiameters en dus in een verschuiving der ringen uiteten: dergelijke veranderingen in roosterafstand kunnen bijv. het gevolg zijn van elastische spanningen in het kristalrooster, of ook ontstaan door het opnemen van componenten in vaste oplossing. Anderzijds zal zich de aanwezigheid van verschillende kristal-soorten in eenzelfde praeparaat, dus de aanwezigheid van meerdere fasen, zoo uiteten, dat het aan iedere kristal-soort beantwoordende ringsysteem in het diagram voorkomt.

Onderscheidt zich dus de monochromatische röntgenfoto in bepaald opzicht van de polychromatische, evenals deze kan zij gegevens verschaffen over de grootte en volkomenheid der kristal-lieten en betreffende het optreden van voorkeuriëntaties in de praeparaten. Algemeen gesproken uiteten deze zich ook hier in het optreden van interferentie-stippen in bepaalde groepen, in het aantal der stippen en in hun scherpte en hun intensiteit. Bij aanwezigheid van kristalonvolkomenheden hangt het van hun aard af, bijv. van de vraag, of zij zich over veel of weinig atomen uitstrekken, of vervaging dan wel verzwakking der interferenties optreedt. Bovendien kan vervaging optreden, indien het aantal verstrooiende atomen zeer klein is. Zonder hierop nader in te gaan, is het van belang, op te merken, dat het röntgenografisch onderzoek over de genoemde eigenschappen in principe inlichtingen kan verstrekken.

Wat in het voorgaande gezegd is over de gegevens, welke met röntgenstralen betreffende de toestand en het chemisch karakter van een kristallijne stof verkregen kunnen worden, geldt met eenige wijziging in principe ook voor kathodestrallen. Ook deze worden

aan de kristalroosters verstrooid, echter, tengevolge van hun zeer gering doordringingsvermogen, slechts aan uiterst dunne lagen. De hiermede verkregen gegevens hebben dus op de toestand van de stof in zeer dunne oppervlaktelagen van weinige atomen dikte betrekking. Anderzijds opent de toepassing van deze stralen, tengevolge van hun sterke wisselwerking met de atomen der verstrooiende stof, juist de mogelijkheid, de kristallijne toestand van dergelijke geringe hoeveelheden stof vast te stellen, waarvan met behulp van röntgenstralen geen duidelijke diffractie-effecten verkregen kunnen worden. De beide onderzoekingsmethoden vullen elkaar dus in zeker opzicht aan.

Thans wil ik er toe overgaan, aan de hand van eenige voorbeelden de besproken toepassingsmogelijkheden van het diffractie-onderzoek nader te illustreeren. De in uitvoering eenvoudigste toepassing is de mogelijkheid tot identificatie van een verbinding. Men vergelijkt hierbij het van de onbekende stof verkregen diagram met het diagram eener vergelijkingsstof. Bij een bepaald laboratorium zal zich de keuze der in aanmerking komende vergelijkingsstoffen veelal tot een betrekkelijk gering aantal steeds weer voorkomende stoffen beperken, waarvan men reeds van te voren een diagrammenverzameling kan aanleggen. Daarnaast bestaat de mogelijkheid, een diagram op bepaalde wijze, bijv. door opgave der afbuigingshoeken en intensiteiten der drie sterkste lijnen, zoodanig te karakteriseeren, dat men een soort determineertabel verkrijgt, welke het in principe mogelijk maakt, een onbekende verbinding te identificeeren mits zij in de tabel voorkomt. Dergelijke tabellen zijn bijv. door HANAWALT, RINN en FREVEL ¹⁾ van de Dow Chemical Company in Amerika voor een betrekkelijk groot aantal verbindingen (1000) gemaakt, echter kan niet ontkend worden, dat allerlei factoren, zooals bijv. verschillen in de kristaltoestand der gebruikte praeparaten, intensiteitsveranderingen e.d. kunnen teweegbrengen, die het gebruik der tabellen zonder meer bemoeilijken, zoo al niet onmogelijk maken. In het algemeen zal dus een directe vergelijking met zelfgemaakte vergelijkingsdiagrammen aan te bevelen zijn. Als voorbeeld wil ik U een geval noemen, waarbij het een organische verbinding betrof, n.l. een door MEUWISSEN en NOYONS ²⁾ bij hun

¹⁾ J. D. Hanawalt, H. W. Rinn en L. K. Frevel, Ind. Eng. Chem. 10, 457, 1938.

²⁾ T. Meuwissen en E. Noyons, Acta brevia Neerlandica 8, 85, 1938.

onderzoekingen over het voorkomen van vitamine-C in urine verkregen osazon. Het röntgenogram hiervan bleek identiek met dat van een osazon van ascorbinezuur en geheel verschillend van het röntgenogram van het chemisch tot op zekere hoogte analoog gebouwde osazon van reductinezuur, een resultaat, dat hun aanname, dat in normale urine veelal vitamine-C voorkomt, bevestigde. Ik haal dit voorbeeld aan, omdat, naar ik meen, juist op het gebied der organische chemie de identificatie met behulp van een röntgendiffractiediagram nog slechts zeer weinig wordt toegepast en toch waarschijnlijk naast de identificatie door het smeltpunt of anderzins (bijv. het door TERPSTRA¹⁾ voorgestelde uitmeten van kristallen) alle aandacht verdient. Bovendien kan het röntgenogram, tezamen met het praeparaat bewaard, ook bij later gebruik van nut zijn, bijv. om een eventuele verandering of ontleding van het praeparaat te constateeren. Verder kunnen op deze wijze ook isomeren, in zooverre zij gekristalliseerd zijn, ondanks hun identieke chemische samenstelling, van elkaar onderscheiden worden: de diagrammen van o-, m- en p-dioxybenzol zijn bijv. duidelijk verschillend.

Omdat voor het vervaardigen van het diffractiebeeld slechts een geringe hoeveelheid, bijv. een tiental milligram, noodig is, zal in vele gevallen de ter beschikking staande hoeveelheid van een praeparaat meer dan voldoende zijn. Staat echter slechts zeer weinig ter beschikking, dan kan een diffractiediagram met kathodestrallen misschien diensten bewijzen. Want de hiervoor benodigde hoeveelheid stof is nog veel kleiner. Het bleek bijv. mogelijk, van het acetaat van een door BOER, REERINK en VAN WIJK²⁾ uit een dierproduct afgescheiden provitamine-D een uitstekend lijnenrijk diagram te verkrijgen door een paar kristalnaaldjes op te lossen in enkele cc petroleumather, een druppel van deze oplossing op een dun zaponlak-vliesje te laten verdampen en dit laatste als praeparaat te doorstralen. Het zoo verkregen ringensysteem was practisch identiek met dat, hetwelk van het acetaat van synthetisch 7-dehydrocholesterol verkregen werd. Wel bleek bij voortgezet

¹⁾ P. Terpstra, „Kristallographie als hulpwetenschap voor de Scheikunde”. Wolters, Groningen, 1939.

²⁾ A. G. Boer, E. H. Reerink, A. van Wijk en J. van Niekerk, Proc. Roy. Acad. Amsterdam, 39, 622, 1936.

onderzoek ook het in atoomsamenstelling verwante ergosterolaceaat een maar weinig verschillend diagram op te leveren, zoodat in dit geval het diffractie-onderzoek t.o.v. de reeds op andere wijze vastgestelde identiteit van het synthetische en het natuurlijke product niet veelzeggend was, dit neemt niet weg, dat de mogelijkheid, van zeer kleine stofhoeveelheden duidelijke diffractiediagrammen te verkrijgen, in andere gevallen van belang kan blijken te zijn.

Bestaat de te onderzoeken stof uit een mengsel van meerdere stoffen, zoo vertoont het diagram, zooals reeds gezegd, de bij de afzonderlijke deelen van het mengsel behorende lijnen en kan hieruit dus wederom door vergelijking met bekende diagrammen de samenstelling van het mengsel kwalitatief en tot op zekere hoogte ook quantitatief worden afgeleid. De beteekenis van de zoo verkregen analyse is deze, dat zij de samenstellende *verbindingen* doet kennen, en niet, zooals de zuiver chemische analyse, de atoomsamenstelling. Men kan bijv. langs deze weg aantoonen ¹⁾, dat thoriumoxyde, hetwelk aan het tot metaal te reduceeren wolframoxyde bijv. in de vorm van nitraat wordt toegevoegd, bij het reductieproces niet gereduceerd wordt, doch als zoodanig in het wolframmetaal aanwezig is, waar het tusschen de kristallieten ligt en hun samengroei bij latere gloeiing belemmert. Eerst bij gloeiing van het metaal op zeer hooge temperatuur vindt, zooals ook weer röntgenografisch blijkt, een gedeeltelijke reductie tot thoriummetaal plaats, dat naar de oppervlakte der draad diffundeert en hier, zooals bekend, een vergrooting der electronenemissie teweeg brengt. Het is duidelijk, dat een dergelijke bepaling der stoffen in een mengsel, in het bijzonder bij ingewikkelde verbindingen als bijv. silicaten, waar de chemische analyse slechts weinig uitsluitsel over de eigenlijke opbouw geeft, van groot belang kan zijn. Een fraai voorbeeld uit de praktijk hiervan vormen de aan de Landbouw Hoogeschool te Wageningen uitgevoerde onderzoekingen van EDELMAN, VAN BAREN, FAVEJEE en HARDON ²⁾ over de samenstelling van kleimineralen. Dergelijke voorbeelden kunnen natuurlijk met vele vermeerderd worden.

¹⁾ Z. anorg. allg. Chem. **193**, 144. 1930.

²⁾ C. H. Edelman, F. A. van Baren, J. Ch. L. Favejee en H. J. Hardon, Mededeelingen van de Landbouwhoogeschool te Wageningen **43** (1939), Verhandeling 4-6.

De mogelijkheid tot identificatie van stoffen en de analyse van mengsels maakt het röntgenografisch onderzoek ook tot een waardevol hulpmiddel bij de bestudeering van reacties in vaste toestand, zij het tot vaststellen der reactieproducten of tot het volgen van het verloop der reactie. Nieuwe verbindingen kunnen aan hun lijnensysteem herkend worden, terwijl, indien zich vaste oplossingen vormen, waarbij geen nieuwe fasen optreden, tengevolge van de daarmee gepaard gaande uitzetting of inkrimping van het kristalrooster der hoofdphase, een verschuiving in de plaats der lijnen waargenomen wordt. Hieruit kan, de verandering der roosterconstante berekend worden, en veelal de samenstelling der vaste oplossing worden afgeleid. Vooral in metallurgische laboratoria worden op deze wijze meer en meer de fasegrenzen in het stofdiagram vastgelegd. Ook de reacties, welke plaats vinden bij absorptie van gassen in metalen, laten zich tot op zekere hoogte langs deze weg bestudeeren. Als voorbeeld zij de vorming van carbiden van hoogsmeltende metalen als tantaal of zirkoon genoemd, verbindingen, die uit hoofde van hun electrisch geleidingsvermogen en hoog smeltpunt, als gloeilichamen in electrische lichtbronnen in aanmerking kunnen komen. Dergelijke carbiden kunnen o.a. naar een voorstel van VAN ARKEL¹⁾, door gloeien van een kooldraad in de damp van een vluchtige halogeenvbinding van het metaal gevormd worden. Tantaalcarbidedraden, die volgens dit proces vervaardigd waren, bleken bij daaropvolgend gebruik als gloeidraad in vacuumlampen groote verschillen in weerstand en in ballonzwarting tengevolge van verdamping te vertoonen. Een chemische analyse van enkele draden werd wel uitgevoerd, is echter tengevolge van hun onoplosbaarheid lastig en heeft bovendien vernietiging van de desbetreffende draad tengevolge. Uit röntgenopnamen der draden zelf bleek ten eerste, dat er behalve draden, die alleen het patroon van het carbide TaC vertoonden, er andere waren, welke bovendien het carbide Ta₂C bevatten. Verder was de uit de TaC-lijnen berekende roosterconstante in vele gevallen kleiner dan voor zuiver TaC verwacht werd, hetgeen aan de aanwezigheid van in vaste oplossing aanwezig tantaal toegeschreven moest worden. Door nagloeien der

¹⁾ Zie Z. anorg. allg. Chem. 216, 209, 1934.

draden in koolwaterstofatmosfeer kon deze overmaat tantaal eveneens in carbide worden omgezet: de roosterconstante nam daarbij toe en het optreden der maximale waarde werd als kenmerk gebruikt, dat het zuivere carbide verkregen was.

Een ander voorbeeld, waarbij het vaststellen van een verandering der roosterconstante eener homogene vaste phase van interesse was, deed zich voor bij een nog niet gepubliceerd onderzoek van DE BOER en FAST ¹⁾ over de beweeglijkheid van zuurstof in zirkoon onder invloed van een electrisch veld. Het metaal zirkoon kan een groote hoeveelheid zuurstof onder vergrooting van zijn roosterafmetingen in vaste oplossing opnemen, waarbij, zooals uit een bepaling van het soortelijk gewicht kan worden afgeleid, de zuurstofatomen zich in de tusschenruimten van het door de metaal-atomen gevormde rooster bevinden. De zuurstofopname heeft tegelijkertijd een vergrooting der electrische weerstand van het metaal tengevolge. Bij gloeien van een dergelijke zuurstofhoudende draad in een lamp met gelijkstroom bleek nu de weerstand van het draadstuk in de buurt der positieve pool aanmerkelijk toe te nemen, onder gelijktijdige afname der weerstand van het stuk bij de negatieve pool. Dit feit moet volgens de genoemde onderzoekers daaraan toegeschreven worden, dat de zuurstof zich onder de invloed van het electrische veld vermoedelijk als negatief ion naar de anode beweegt en daar de zuurstofconcentratie vergroot. Röntgenopnamen der draadgedeelten in de onmiddellijke nabijheid der polen vertoonden inderdaad een vergrooting der roosterafmetingen aan de anode en een afname aan de kathode, in overeenstemming met bovenstaande conclusie. Het is wel duidelijk, dat een nauwkeurige bepaling van het verloop der roosterconstanten langs de draad voor de kennis van het transportmechanisme van deze „electrolyse in vaste toestand” belangwekkend zou zijn.

Het feit, dat de gebruikelijke röntgenstraling in vaste stoffen reeds na een indringdiepte van 10 tot 20 mikron door absorptie tot op de helft der oorspronkelijke intensiteit afneemt, maakt het bij reacties, waarbij vaste stoffen een rol spelen, bovendien mogelijk, verschillen in samenstelling tusschen aan de oppervlakte

¹⁾ Verschijnt in Rec. Trav. Chim. Pays Bas in 1940. Ook op deze plaats wil ik de Heeren de Boer en Fast nog gaarne danken voor hun toestemming, reeds hier iets van de uitkomsten van hun onderzoek te vermelden.

en meer naar binnen gelegen lagen van een reactieproduct aan te toonen en wel door een opname van het niet geëteste product te vergelijken met een opname, welke na afbeitsen der oppervlaktelaag verkregen is. Langs dezen weg kan bijv. een diffusieproces tot op zekere hoogte bestudeerd worden. In dit opzicht hebben electronenstralen nog extremere eigenschappen, want zij worden, zooals reeds opgemerkt in weinige atoomlagen sterk geabsorbeerd, zoodat met hun hulp veelal de aanwezigheid van een uiterst dun laagje van afwijkende samenstelling aan het oppervlak van een vaste stof (bijv. een dun oxydhuidje) vastgelegd en nader geïdentificeerd kan worden.

Hebben de tot nu toe besproken toepassingen een min of meer analytisch karakter en kunnen de verkregen resultaten als een aanvulling van langs zuiver chemische weg uitgevoerde analyses beschouwd worden, geheel anders staat het met die gegevens, welke op de *kristallijne toestand* van een stof betrekking hebben, dus op de grootte, volmaaktheid en oriëntatie der kristallieten, waaruit deze is opgebouwd. Het belang om de kristallijne toestand van een stof zoo goed mogelijk te kennen, hangt hiermede samen, dat een groot aantal belangrijke stoffeigenschappen, als bijv. elektrisch geleidingsvermogen, photochemisch gedrag, chemische activiteit, cohaesie, e.a., in sterke mate van de kristaltoestand afhangen en door betrekkelijk geringe veranderingen hierin aanmerkelijk beïnvloed kunnen worden. Zooals bekend, noemt SMEKAL dergelijke eigenschappen „strukturempfindlich”, in tegenstelling tot bijv. het soortelijk gewicht, dat slechts weinig van de kristaltoestand afhankelijk is.

Van de vele toepassingen op dit gebied willen wij de onderzoekingen van FRICKE en medewerkers over actieve oxyden en oxydhydraten noemen ¹⁾, waaruit blijkt, dat de oplossingswarmte en chemische activiteit van oxyden als zinkoxyde, berylliumoxyde e.d., zeer sterk van de vormingswijze dezer verbindingen afhangen: bijv. was de warmte-inhoud van door ontwatering der hydroxyden verkregen oxyden des te grooter, naarmate de ontwatering bij

¹⁾ R. Fricke, „Aktive Zustände der Materie und ihre Bedeutung für die anorganische Chemie”, Z. angew. Chem. 51, 863, 1938. Zie ook: R. Fricke und G. F. Hüttig, „Hydroxyde und Oxyhydrate”, Leipzig 1937; en J. H. Hedvall, „Reaktionsfähigkeit fester Stoffe” (Leipzig 1938);

lagere temperatuur en met grootere snelheid plaats gevonden had. Röntgenografisch of met behulp van electronen-diffractie-opnamen kon nu worden vastgesteld, dat de energierijkste praeparaten uit zeer kleine kristallieten bestonden of uit kristallieten met een sterk gestoord rooster. Soortgelijke resultaten werden door HOFMANN ¹⁾ en medewerkers bij kool- en roetsoorten van verschillende activiteit verkregen. Hierbij konden uit waargenomen verschillen in de scherpte der interferentielijnen ook gegevens over de vorm der deeltjes en de kristallografische aard der kristalonvolkomenheid worden afgeleid. Bovendien bleek de afstand der vlakken, waarin de koolstofzesringen liggen, bij zeer kleine deeltjes met afmetingen van eenige tientallen Å toe te nemen, een verschijnsel, dat, zooals DE BOER opgemerkt heeft, bij aanwezigheid van VAN DER WAALS'sche aantrekkingskrachten tusschen deze atoomvlakken begrijpelijk is. Ook bij stoffen van geheel andere aard, als bijv. boter, werd wel getracht uit het röntgenbeeld inlichtingen over de toestand van het gekristalliseerde bestanddeel af te leiden, in de hoop verschillen in vastheid tusschen op verschillende wijze bereide botersoorten met op grond van andere overwegingen ²⁾ verwachte verschillen in grootte der botervetkristallen in verband te brengen. Ofschoon in deze richting uitgevoerde voorloopige proeven geen duidelijk antwoord op de gestelde vraag gaven, lijkt het principieel niet onmogelijk, dat uitvoerigere onderzoekingen bij bestudeering van vragen van deze aard wel van nut kunnen zijn.

Naast een invloed van roosteronvolkomenheden, die het resultaat zijn van de bereidingswijze eener stof, kan men ook die van uitwendige vervormingen op het reactievermogen bestudeeren. Dat hierdoor omzettingen bevorderd worden, werd onlangs nog weer door DEKEYSER en PRINS ³⁾ langs röntgenografische weg voor de omzetting van amorf in kristallijn seleen aangetoond, welke omzetting door voorafgaande deformatie (poederen) naar lagere temperatuur verschoven werd.

Behalve de vaststelling der kristal grootte en kristalvolmaaktheid kan die der kristaloriëntatie van belang zijn: bijv. blijken door ver-

¹⁾ U. Hoffmann und D. Wilm, Z. Elektrochem. 42, 504, 1936.

²⁾ W. van Dam, J. Dairy Science 18, 45, 1935.

³⁾ W. Dekeyser en J. A. Prins, Physica 6, 1009, 1939.

damping of verstuiving neergeslagen metaal- of zoutlagen voorkeursrichtingen der kristallieten te vertoonen, die met een bepaalde anisotropie der eigenschappen verband houden. Ook bij electrolytisch neergeslagen metaallagen blijken de kristallieten zich in het algemeen in bepaalde standen t.o.v. de als onderlaag dienende metaallaag te rangschikken, waarbij de „textuur” met de dikte der laag verandert en op oogenschijnlijk gecompliceerde, nog niet volledig bekende, wijze van de omstandigheden, waaronder de electrolyse uitgevoerd wordt, zooals stroomdichtheid, grootte van het electrolysevat, roeren e.d., blijkt af te hangen ¹⁾. Het is mogelijk, dat eigenschappen als hechtheid en glans der neergeslagen metaallagen met de aard der textuur verband houden. Als een weliswaar niet chemisch, maar wel interessant voorbeeld van röntgenografisch textuuronderzoek moge op deze plaats een onderzoek van LARK-HOROVITZ en CALDWELL ²⁾ naar de aanwezigheid eener textuur der cellulosekristallieten in het boven- en onderblad van violen in verband met hun klankkwaliteit genoemd worden. Het bleek hierbij, dat, terwijl bij alle onderzochte instrumenten het bovenblad röntgenografisch een uitgesproken textuur vertoonde, deze in het onderblad alleen bij de minder goede violen optrad, bij de betere instrumenten echter practisch afwezig was.

Terugkeerende tot de scheikunde, behoort hier ook gewezen te worden op die onderzoekingen, waarin fijnere verschillen in kristallografische opbouw tusschen verwante verbindingen met verschillen in hun eigenschappen in verband worden gebracht. Tot deze categorie behooren de door VERWEY en DE BOER ³⁾ uitgevoerde onderzoekingen over het electronengeleidingsvermogen van halfgeleiders. Hierbij werd gevonden, dat het groote verschil in geleidingsvermogen tusschen stoffen als Fe_3O_4 en Mn_3O_4 daarmede samenhangt, dat in Fe_3O_4 metaalionen van verschillende waardigheid op kristallografisch gelijke plaatsen voorkomen, terwijl dit bij Mn_3O_4 niet het geval is, een resultaat, dat zich o.a. met behulp eener beschouwing der intensiteiten der röntgenlijnen liet afleiden.

¹⁾ Naturwiss. 21, 465, 1933.

²⁾ K. Lark-Horowitz en W. I. Caldwell Naturwissensch. 22, 450, 1934.

³⁾ E. J. W. Verwey en J. H. de Boer. Rec. trav. chim. 35, 531, 1936; Proc. physical Soc. 49, extra part 59, 1936.

Een bijna onbegrensd gebied van toepassing vindt het röntgenografisch onderzoek bij de bestudeering van de structuurveranderingen, welke bij de vervorming en warmtebehandeling van metalen optreden. Het uitgesproken vermogen van metaalkristallen om zich plastisch te vervormen brengt met zich mede, dat zoowel de oriëntatie als de inwendige toestand der kristallieten bij de bewerking groote veranderingen ondergaat. In getrokken draden en gewalste platen nemen de kristallieten steeds bepaalde voorkeursstanden in en deze kunnen door een daaropvolgend gloei-proces, waarbij zich nieuwe kristallen door rekristallisatie vormen, weer geheel gewijzigd worden. Deze texturen geven tot een anisotropie in de eigenschappen van het metaal aanleiding, die voor de beoogde toepassing van het metaal zoowel gewenscht als ongewenscht kan zijn. De bepaling hunner kristallografische aard is dientengevolge veelal van groot praktisch belang en kan langs röntgenografische weg ondubbelzinnig worden uitgevoerd. Behalve tot het optreden van deze oriëntaties geeft de vervorming tot roosterstoringen in en tusschen de kristallieten aanleiding; het vervormde metaal bevindt zich in een gespannen toestand, hetgeen zich ook uit in de veranderingen, welke vele eigenschappen bij de vervorming ondergaan. De kennis van de aard dezer storingen, de vraag, of zij zich over kleine of groote roostergebieden uitstrekken en hoe zij geometrisch gebouwd zijn, kan van belang zijn, indien men zich een beeld wil vormen van de in het vervormde metaal aanwezige spanningen en van het verband, dat er tusschen de veranderingen van bepaalde eigenschappen en de aard der spanningen bestaat. Dat dit verband voor eigenschappen als elektrische weerstand, mechanische en magnetische hardheid, verschillend is, is reeds in verschillende gevallen komen vast te staan, echter is onze kennis hiervan nog zeer beperkt. Ook in dit gebied zal het diffractie-onderzoek niet gemist kunnen worden, al is het de vraag, of het mogelijk zal blijken, uit de waargenomen verbredingen en intensiteitsveranderingen der interferenties voldoende gegevens betreffende de roosterstoringen af te leiden om bepaalde vragen van bovengenoemde aard te kunnen beantwoorden. Röntgenografische onderzoekingen, die door verschillende onderzoekers in de laatste jaren uitgevoerd zijn over de structuurveranderingen, welke bij de uitscheiding eener

komponent vanuit een oververzadigde vaste oplossing of bij de ordening der atomen in een mengkristal optreden, doen echter verwachten, dat ook op dit gebied nog belangwekkende resultaten verkregen zullen worden. Wij willen bijv. wijzen op recente onderzoeken van PRESTON ¹⁾ en van GUINIER ²⁾ over de uitscheiding van koper uit koperaluminiumlegeringen. Het metaal aluminium kan bij 500° C eenige % koper in vaste oplossing opnemen, bij 200° C niet meer dan eenige 0.1 %. Door echter een bij hoge temperatuur verzadigde legering snel af te koelen, wordt de homogene toestand als het ware bij kamertemperatuur gefixeerd. De legering bevindt zich nu in een mechanisch „zachte” toestand. Wordt zij echter bij deze temperatuur bewaard, dan blijkt de hardheid langzamerhand toe te nemen, en wel tot een maximale waarde, welke na verloop van eenige dagen bereikt wordt. Dit verschijnsel, dat in de praktijk als verouderen bekend staat, vindt waarschijnlijk zijn oorzaak in het ontstaan van roosterstoringen, als gevolg der diffusieprocessen, die de uitscheiding der in overmaat aanwezige koperatomen inleiden. Over de wijze, waarop deze uitscheiding plaats vindt, is echter, ondanks veel experimenteel onderzoek (het betreft hier een van praktisch standpunt belangrijk proces) nog weinig definitief bekend. PRESTON heeft nu gevonden, dat röntgenfoto's van eenkristallen der legering, onmiddellijk na de snelle afkoeling van hoge temperatuur opgenomen, behalve scherp begrensde stippen bovendien vage strepen vertoonden, die met de duur der veroudering in duidelijkheid en scherpte toenamen. Overeenkomstige resultaten zijn door GUINIER bereikt. Een nadere beschouwing en analyse van deze strepen, waarop ik hier niet nader kan ingaan, maakt het waarschijnlijk, dat zij aan het ontstaan van kleine plaatvormige aggregaten van koperatomen van hoogstens enkele atomen dikte langs de kubusvlakken van het kristalrooster toegeschreven moeten worden, en men moet aannemen, dat deze beginnende aggregatie reeds met een toename der hardheid gepaard gaat. Wordt het kristal, nadat bij kamertempera-

¹⁾ G. D. Preston, Philos Magaz. 26, 855, 1938; Proc. Phys. Soc. 1940.

²⁾ A. Guinier, Thèses, Paris 1939.

tuur de maximale hardheid bereikt is, op bijv. 200° C verhit, dan treedt aanvankelijk een afname der hardheid onder gelijktijdige verdwijning der strepen op. De aggregaten lossen dus weer op, hetgeen ook blijkt uit de extra groote waarde der soortelijke warmte in dit temperatuurgebied als gevolg van de voor het oplossen benodigde warmte ¹⁾). Langer gloeien bij 200° C veroorzaakt dan opnieuw een toename der hardheid en ook deze gaat met het optreden der strepen gepaard. Nu echter zijn deze veel scherper begrensd, hetgeen op de aanwezigheid van aanmerkelijk grootere aggregaten wijst. Na nog langer voortgezette warmtebehandeling lossen zich de strepen in scherpe interferentiestippen op, als een gevolg van het aangroeien der platen tot weer grootere complexen. Ofschoon de tijd verbiedt, op deze processen nader in te gaan, moge uit het voorgaande blijken, dat het verschil in inwendige structuur tusschen een z.g. koud- en een warmgeharde koper-aluminium legering, hetwelk zich in de praktijk ook in verschillen der technologische eigenschappen uit, in het röntgenbeeld duidelijk tot uiting komt en eenigszins nader gepreciseerd kan worden.

Tenslotte zal bij het metaalonderzoek misschien ook de bestudeering van het electronen-emitterend vermogen met behulp eener zoogenaamde electronenmikroskoop van belang blijken. In de eerste plaats toch kunnen daarmede structuurveranderingen, indien zij met veranderingen in het emitterend vermogen der kristallen gepaard gaan, onder geschikte omstandigheden zichtbaar gemaakt worden. Met allotrope omzettingen bleek dit inderdaad reeds het geval. In hoeverre dit ook bij structuurveranderingen, welke de uitscheiding of ordening van atomen in een vaste oplossing begeleiden, optreedt, is nog niet bekend. Het lijkt echter niet onmogelijk, dat de electronenemissiemikroskoop, samen met röntgenografisch onderzoek, bij de bestudeering der toestandsdiagrammen van metallische fasen goede diensten kan bewijzen. Daarnaast kan dit apparaat in bepaalde gevallen ook voor de bestudeering van diffusieverschijnselen van vreemde atomen langs het oppervlak der kristallen worden gebruikt. Het onderzoek van al deze verschijnselen bij metalen schijnt van belang, mede met het

¹⁾ N. Swindells en C. Sykes, Proc. Roy. Soc. A. 168, 237, 1938.

oog op het juist in de laatste jaren snel toenemende inzicht in het wezen der metallische toestand, hetgeen Professor HOLST ¹⁾ toch aan het einde van zijn voor het laatste Natuur- en Geneeskundig Congres te Nijmegen gehouden rede deed voorspellen, dat in de volgende 20—25 jaren geheel nieuwe reeksen van legeringen met eigenschappen, die voor de techniek van het grootste belang zijn, ontwikkeld zullen worden.

In het voorgaande heb ik U eenige van de mogelijkheden geschetst, welke voor het onderzoek van stoffen en materialen met röntgen- en electronenstralen, afgezien van de eigenlijke kristalstructuuranalyse (en ook afgezien van de zogenaamde doorlichtingsmethode, welke de aanwezigheid van grove structuur-inhomogeniteiten, als bijv. scheuren en dergelijke, openbaart en hier geheel buiten beschouwing blijft) zijn weggelegd. De mogelijkheid tot praktische toepassing is momenteel inzonderheid voor de röntgenografische methode in vele gevallen gegeven door het in de handel zijn van röntgenapparaturen, welke de afmetingen van een laboratoriumapparaat niet te boven gaan en althans voor hun praktisch gebruik geen grootere ervaring vereischen dan voor een willekeurig ander apparaat voor bijzonder onderzoek verlangd wordt. Het werken met de electronen-diffractie- en -emissiemethode vereischt weliswaar meerdere ervaring en hiervoor geldt het bovenstaande dus in mindere mate, maar ook hier laat zich verwachten, dat een meer algemeene toepassing tot de mogelijkheden behoort.

Dat het belang van het röntgenografisch structuuronderzoek in de hier besproken zin ook voor de industrie meer en meer wordt ingezien, blijkt bijv. uit het eenige jaren geleden door de American Society for Testing Materials gehouden Symposium over "X-Ray Diffraction Methods". In Engeland bestonden plannen voor een soortgelijke bijeenkomst in het voorjaar van dit jaar. Ook in Duitschland getuigen de publicaties in de „Ergebnisse der technischen Röntgenkunde" van de belangstelling, welke men voor dit onderzoek heeft. Het aantal industrielaboratoria, inzonderheid die der metaalindustrie, waar röntgenografisch diffractie-onderzoek in een of andere vorm wordt toegepast, neemt dan ook voortdurend toe.

¹⁾ G. Holst, Hand. 27ste Nederl. Natuur- en Geneesk. Congres, Nijmegen 1939.

Bij de aanvaarding van mijn ambt wil ik in de eerste plaats mijn eerbiedige dank betuigen aan Hare Majesteit de Koningin voor mijn benoeming tot hoogleeraar aan deze hoogeschool.

Aan Zijne Excellentie den Minister van Onderwijs, Kunsten en Wetenschappen ben ik dank verschuldigd, dat hij mij voor deze benoeming heeft voorgedragen.

Mijne Heeren Curatoren,

Uw medewerking bij mijn benoeming stel ik op hoogen prijs en ik dank U voor het in mij gestelde vertrouwen. Ik ben mij van mijn verantwoordelijkheid ten volle bewust en hoop, dat ik mijn nieuwe taak, die zoo zeer verschilt van de tot nu toe door mij vervulde, zal kunnen volbrengen, zooals U dit van mij verwacht.

Mijne Heeren Professoren en Lectoren der Technische Hoogeschool,

Ik beschouw het als een groot voorrecht, in Uw kring te worden opgenomen en ik hoop aangenaam met U te kunnen samenwerken in het belang der Technische Hoogeschool. Deze samenwerking zal zich in het bijzonder uitstrekken tot U, mijne Heeren der Afdeeling der Scheikundige Technologie. Uw bewijzen van hartelijke belangstelling, bij mijn benoeming ontvangen, hebben mij zeer getroffen.

Hooggeachte Reinders,

Dat U mij als Uw opvolger hebt voorgedragen, hoewel mijn gebied van onderzoek zoo veel verschilt van het uitgebreide terrein, waarop Uw onderzoekingen en die van Uw medewerkers zich bewogen hebben, is een teeken van vertrouwen, dat ik zeer waardeer. De taak, die mij wacht, zal niet gemakkelijk zijn. Eenerzijds toch heeft Uw laboratorium in de loop der dertig jaren, die U als hoogleeraar aan deze Hoogeschool verbonden waart, op verschillende gebieden der physische scheikunde groote bekendheid gekregen, daarnaast heeft U zich ook de genegenheid en hoogachting van Uw talrijke leerlingen weten te verwerven. Moge het mij gelukken, Uw verwachtingen niet teleur te stellen. Bij de

inrichting van het nieuwe laboratorium voor physische scheikunde hoop ik nog menigmaal van Uw raad te mogen profiteren.

Hooggeachte Scheffer,

De indeeling van het onderwijs in de scheikunde aan de Technische Hoogeschool brengt met zich mede, dat ik met U in nauw contact zal samenwerken. De groote vriendelijkheid, welke ik vanaf de eerste besprekingen betreffende mijn eventueele benoeming van U mocht ondervinden, geven mij het volste vertrouwen, dat onze samenwerking van de meest aangename aard zal zijn.

Waarde Brandsma, Dorgelo en Zwikker.

Het verheugt mij, dat mijn benoeming in Delft de banden van vriendschap, die ons verbinden, nauwer zal aanhalen. De zekerheid, dat ik mij tot U om raad mag wenden, is voor mij van groote waarde.

Een sprekender getuigenis van vriendschap, *hooggeachte Backer*, dan de aanhef van Uw felicitatiebrief: „Van alle kanten word ik hier gelukgewenscht. Men begrijpt dus wel, dat ik blij ben met je benoeming”, kan ik mij niet denken. Hiervoor wil ik U van deze plaats nog eens hartelijk danken.

Hooggeachte Holst,

Mijn benoeming tot hoogleeraar geeft mij de gelegenheid, U openlijk te zeggen, hoezeer ik de jaren, in Uw laboratorium doorgebracht, op waarde heb weten te schatten. Misschien in de aller-eerste plaats om de groote vrijheid, waarmede ik mijn werk heb kunnen uitvoeren en de mogelijkheid, de grenzen van een onderzoek ruim te kunnen kiezen. Daarnaast heeft het directe en indirecte contact met het werk van mijn collega's een zeer groote invloed op mijn wetenschappelijke vorming gehad. Uw gave, de essentieele resultaten van een onderzoek van weken of maanden in evenveel minuten te doorzien, heeft altijd diepe indruk op mij gemaakt. Dat ik mij ook in de toekomst tot U en Uwe medewerkers om raad mag wenden, beschouw ik als een groot voorrecht.

Aan de *Directie der Philips' Gloeilampenfabrieken* wil ik hier uiting geven aan mijn gevoel van bewondering voor de ruime mogelijkheid tot wetenschappelijk werk, die in haar laboratoria bestaat. Moge het mij gegeven zijn, bij te dragen tot de opleiding van een jongere generatie van ingenieurs, die in de toekomst in de industrie werkzaam zullen zijn.

Waarde Collega's uit Eindhoven,

Dat mij het afscheid uit Uw kring niet gemakkelijk valt, zal velen van U bekend zijn. Dit geldt vanzelfsprekend in de eerste plaats diegenen onder U, waarmede ik het nauwste heb samengewerkt of gedurende de ruim twaalf jaren van mijn verblijf in Eindhoven bijna dagelijks contact had. In de tijden van ons samen-zijn is veel gebeurd, dat ik niet zal vergeten. Moge het U allen goed gaan.

U, waarde *Ploos van Amstel*, wil ik hier hartelijk dank zeggen voor Uw toegewijde hulp gedurende welhaast mijn geheele werkperiode in Eindhoven. Ik wensch U toe, dat Uw experimenteele vaardigheid U ook bij Uw toekomstig werk veel succes zal brengen.

Mijne Heeren Assistenten en Gij, die werkzaam zijt in het laboratorium voor fysieke scheikunde,

Ik hoop zeer, dat het mij gelukken zal, in even eendrachtige zin met U samen te werken als mijn voorganger. Vanzelfsprekend zal het mij eenige tijd kosten, mij met de werkwijze en de inrichting van het laboratorium vertrouwd te maken. Ik hoop, op Uw hulp en medewerking in deze te mogen rekenen.

Dames en Heeren Studenten,

De zeer snelle ontwikkeling, die ons inzicht in de bouw der stof en in de samenhang tusschen deze en de stoffeigenschaften ondergaat, plaatst den docent voor groote moeilijkheden. De kennis toch, die vereischt zou zijn om al de in aanmerking komende gebieden

in details te beheerschen en in hun verband te overzien, is zoo groot, dat het maar weinigen gegeven is, hierover geheel te beschikken. De mogelijkheid, die ik voor mij zie, is te trachten U een zoodanig inzicht in een aantal verschijnselen te geven, dat U zelfstandig Uw weg kunt vinden in de veelheid van verschijnselen, welke zich bij Uw latere werk kunnen voordoen. Ik hoop, dat mij dit zal gelukken.

Ik heb gezegd.
