

Citation:

E.J.W. Verwey, Levensbericht A.E. van Arkel, in:
Jaarboek, 1976, Amsterdam, pp. 184-192

Levensbericht van

Anton Eduard van Arkel

(19 november 1893–14 maart 1976)

door E. J. W. Verwey

(met een addendum door W. G. Burgers)

Anton Eduard van Arkel werd op 19 november 1893 geboren te 's-Gravenzande als zoon van de dorpsarts. Hij begon in 1912 zijn studie in de medicijnen te Leiden, maar stapte spoedig over naar de scheikunde en naar Utrecht. Op 1 juli 1920 promoveerde hij aldaar op een proefschrift „Uitvlokkingsnelheid van het Seleen Sol” (promotor: H. R. Kruyt).

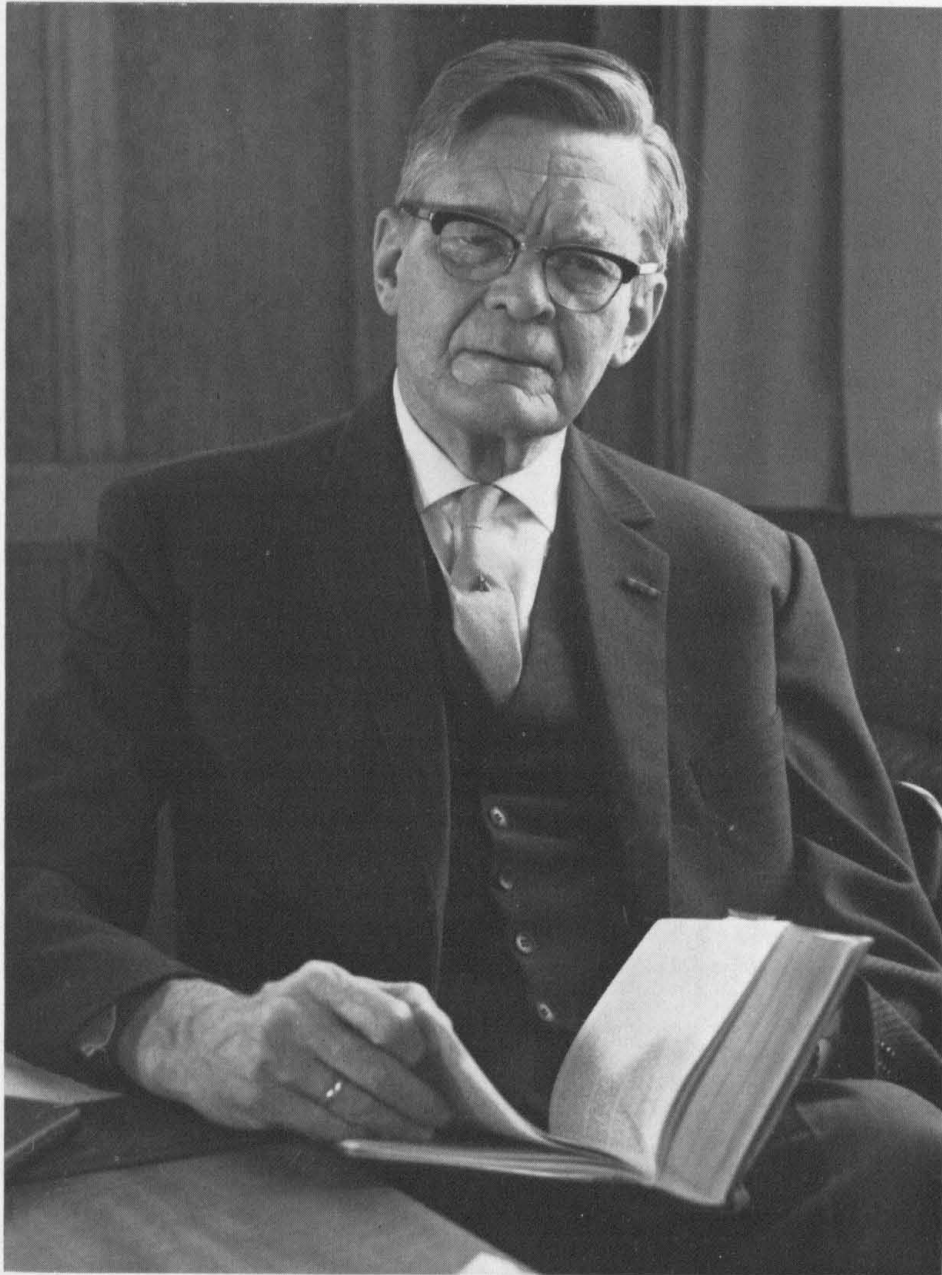
Nadat hij een korte periode (1920–1921) werkzaam was geweest als assistent van professor Storm van Leeuwen, hoogleraar in de farmacologie te Leiden, werd hij in 1921 verbonden aan het jonge „Natuurkundig Laboratorium” der N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven. In 1934 volgde zijn benoeming als hoogleraar in de Anorganische en Fysische Chemie te Leiden (als opvolger van Schreinemakers). In 1947 werd zijn leerstoel, tegelijk met de benoeming van zijn leerling C. J. F. Böttcher tot hoogleraar in de fysische chemie, omgezet in een hoogleraarschap in de anorganische chemie, welke functie hij verder vervulde tot zijn emeritaat (afscheidscollege op 29 mei 1964).

De wedergeboorte van de anorganische chemie na ongeveer 1920 is – niet alleen in ons land – voor een belangrijk deel het werk van Van Arkel geweest. Hij schiep een heel nieuwe benadering van het vak, die men vergelijkende anorganische chemie zou kunnen noemen, waarvan hij de principes ontvouwde in zijn oratie, in 1934. Bepalend was daarbij zijn streven, het ingewikkelde verschijnselen-patroon van de anorganische chemie te ordenen en te begrijpen met behulp van zo eenvoudig mogelijke fysische principes. Kern daarvan is de elektrostatische benadering van de chemische binding in moleculen en kristallen en van de wisselwerking tussen (ook organische) moleculen onderling. Deze benadering, gebaseerd op beschouwingen van fysici als Debye en Kossel, is door Van Arkel tot leidend beginsel gemaakt van de beoefening van vooral de anorganische chemie door hemzelf en zijn leerlingen over een zeer breed front. Het stelde hem in staat het bestaan en de eigenschappen van de overstelpende variëteit van anorganische verbindingen in hun samenhang te begrijpen en/of te voorspellen.

Naast de hier aangeduide hoofdlijn van Van Arkel's wetenschappelijke activiteit moeten nog een aantal andere, min of meer op zichzelf staande, gebieden worden genoemd, waar hij duidelijk baanbrekend werk heeft verricht.

In de eerste plaats het onderzoek bij H. R. Kruyt aan het seleen-sol.

Na een aantal oriënterende onderzoeken aan het goud-sol, in het voetspoor van Zsigmondy en Westgren, heeft Van Arkel daar een methode uitgewerkt voor de bereiding van het iso-disperse seleen-sol (waarvan de deeltjes dus ongeveer gelijke grootte bezitten), en dit object gebruikt voor een uitvoerige studie van de



ANTON EDUARD VAN ARKEL

(19 november 1893–14 maart 1976)

Vertical line of text on the right edge of the page.

Small, faint markings or text in the lower right quadrant.

vlokkingskinetiek. Daarbij werd de vlokking als functie van de tijd, en met variatie van de concentratie en het type van de vlokkende elektrolyten, door deeltjestellingen onder het ultramicroscop gevolgd. Tezamen met de theoretische beschouwingen van Von Smoluchowski en de eerdere metingen aan goud-solen vormen de dissertatie van Van Arkel en een zestal stukken van Kruyt en Van Arkel de grondslag voor dit klassieke hoofdstuk van de colloïd-chemie.

Toen Holst, de oprichter van het Natuurkundig Laboratorium van de N.V. Philips te Eindhoven, in 1921 op zoek was naar een jonge chemicus, die zich in deze fysische omgeving thuis zou voelen, werd door Kruyt de naam van zijn oud-leerling genoemd. Hoewel intussen al in een andere richting werkzaam, heeft Van Arkel de uitnodiging tot het Natuurkundig Laboratorium toe te treden, graag aanvaard. Al gedurende zijn studie had hij grote belangstelling voor de natuurkunde. Tot de overtuiging gekomen, dat de toenmalige scheikundige opleiding te weinig natuurkunde bevatte, had hij zich op dit punt (bij H. C. Burger) van extra-kennis voorzien.

De eerste vraag, die hem in het Natuurkundig Laboratorium voorgelegd werd, was, zich te verdiepen in de re-kristallisatie van wolfram. Dit ter ondersteuning van het meer praktisch gerichte onderzoek van J. A. M. van Liempt op het laboratorium van de gloeilampenfabriek. Dit probleem pakte Van Arkel zeer fundamenteel aan. Hij werkte een methode uit voor de bereiding van zeer zuiver wolfram: de dissociatie van de damp van wolfram-chloride aan een gloeiende kern draad. Deze werkwijze is algemeen bekend als Van Arkel-methode en is later door hemzelf en anderen ook toegepast voor allerlei andere stoffen (ook niet-metalen). Daarnaast werd het onderzoek over de rekristallisatie niet tot wolfram beperkt. Ik verwijs hiervoor naar het Addendum bij dit levensbericht, geschreven door W. G. Burgers. Deze heeft als collega van Van Arkel in latere jaren dit onderzoek van zeer dichtbij meegemaakt, en er toe bijgedragen. In Van Arkel's Leidse periode is deze „zijlijn” min of meer afgerond met het standaardwerk „Reine Metalle, Herstellung, Eigenschaften, Verwendung” (1939, Springer, Berlin; 574 blz.), resultaat van een samenwerking van 20 auteurs, waarbij Van Arkel 12 van de 19 hoofdstukken schreef, en bijdroeg tot 6 andere.

Als derde enigszins op zichzelf staand onderwerp, hoewel wel meer aansluitend bij de genoemde „hoofdlijn”, wil ik nog noemen het dielektrisch gedrag van dipoolvloeistoffen. Dit leidde tot de empirische vergelijking van Van Arkel en Snoek (1932), met een, intuïtief gevonden, uitbreiding van de bekende theorie van Debye door de introductie van een „wisselwerkingsterm”, een onderzoek dat zijn afronding vond in theoretische beschouwingen van Kirkwood, Onsager en Böttcher.

In zijn afscheidscollege vermeldt Van Arkel: „Reeds in 1921, toen ik juist verbonden was aan het Natuurkundig Laboratorium, vestigde dr. Holst mijn aandacht op een reeks verhandelingen van Kossel”. Het is inderdaad boeiend te zien, aan de hand van de publikaties van Van Arkel uit de Eindhovense periode, hoe snel de ontwikkeling tot breed geïnteresseerd chemicus zich heeft voltrokken. (Van de 120 publikaties, die op zijn naam staan, valt het grootste deel in deze periode.) Al in zijn eerste publikaties over kristalbouw en fysische eigenschappen wordt de elektrostatische benadering van de chemische binding uitvoerig gebruikt voor de interpretatie van de eigenschappen van door hem onderzochte stoffen,

b.v. voor een groep van zeer harde nitriden en carbiden (Ti N, Ti C, enz.). In de jaren 1924–1928 wordt de reeks afgewisseld door artikelen met J. H. de Boer als mede-auteur. Vanaf 1923 was De Boer als tweede chemicus in de staf van het Natuurkundig Laboratorium opgenomen. Beider werkzaamheden richtten zich op uiteenlopende gebieden van de anorganische en fysische chemie. Van Arkel concentreerde zich hoofdzakelijk op allerlei problemen van de vaste stof, kristalstructuren, enz. (Voor de activiteiten van J. H. de Boer kan ik verwijzen naar het aan hem gewijde levensbericht in dit Jaarboek van 1971). Dit belette niet, dat zich een zeer intensieve samenwerking ontwikkelde op meer theoretisch gebied tussen Van Arkel en zijn zes jaar jongere collega. (Gedurende een aantal jaren deelden zij op het Natuurkundig Laboratorium een zitkamer). De daaruit resulterende gezamenlijke publikaties lopen in 1930 uit tot hun boek „Chemische Binding als Electrostatisch Verschijnsel”, een bewerking van een serie samenvattende artikelen, die in het Chemisch Weekblad waren verschenen. In dit werk wordt de in 1921 begonnen hoofdlijn verder uitgewerkt en aangetoond hoe met het eenvoudige model van Kossel „allerlei verschijnselen in de anorganische chemie inderdaad op verbluffend eenvoudige wijze te begrijpen waren”.

De laatst geciteerde woorden (uit het afscheidscollege) geven nog maar een zwakke afspiegeling van de revolutionaire verandering in vooral de anorganische chemie, die door de elektrostatische benadering van het chemische krachtenspel werd teweeggebracht. Het bleek mogelijk, althans semi-kwantitatief, verband te leggen tussen fysische en chemische eigenschappen (zoals oplosbaarheid, stabiliteit, vluchtigheid) van een groot aantal verbindingen, respectievelijk inzicht te verwerven in de bouwprincipes van zeer veel anorganische stoffen.

Dankzij een goed contact met Hannover, een van de centra waar, onder leiding van W. Biltz, de anorganische chemie nog op hoog niveau bedreven werd, kwam spoedig een Duitse vertaling van het boek tot stand, bewerkt door Wilhelm en Li Klemm (1931). In 1936 verscheen een aanmerkelijk uitgebreide Franse editie, geïntroduceerd door de Luikse fysico-chemicus V. Henri („La Valence et l'Electrostatique”).

Het is, achteraf beschouwd, jammer, dat een Engelse vertaling achterwege is gebleven. Daardoor is de vooral door Van Arkel ingebrachte lijn van denken in de chemie minder snel in de Angelsaksische landen opgenomen. Na zijn benoeming te Leiden heeft de noodzakelijke vernieuwing van het onderwijs hem aanvankelijk sterk in beslag genomen. Intussen had hij zoveel nieuwe ideeën, dat hij besloot een nieuw boek te schrijven, dat, mede door de zorg voor het boek „Reine Metalle”, pas in 1941 de eerste druk bereikte. Door de oorlogsomstandigheden verscheen de Engelse editie van dit boek, dat de naam „Molekulen en Kristallen” had gekregen, pas in 1949 (met J. C. Swallow). Van de Nederlandse editie verschenen verscheidene drukken. De z.g. vijfde druk (1961) was weer een geheel nieuw boek (in omvang tot het drievoudige gegroeid: 652 blz.).

Zoals zojuist al aangeduid concentreerde Van Arkel's onderzoek en dat van zijn promovendi (een 40-tal dissertaties zijn onder zijn leiding tot stand gekomen) zich meer en meer op een breed spectrum van anorganische verbindingen. Voor een volledig overzicht kan ik verwijzen naar een artikel van F. C. Romeyn en E. W. Gorter in Chemisch Weekblad 60 (1964), 298–308, „A. E. van Arkel,

On the occasion of his retirement from the chair of inorganic chemistry at Leyden University" (met literatuurlijst en lijst van boeken en dissertaties).

Het is interessant hier te vermelden, dat Van Arkel zich in een vroeg stadium ook uitvoerig heeft geïnteresseerd voor de toepasbaarheid van de electrostatische benadering in de organische chemie, en wel vooral ten behoeve van de behandeling van intermoleculaire krachten in vloeistoffen. Daarvan getuigen een groot aantal publicaties uit de Eindhovense periode, gedeeltelijk met J. H. de Boer, W. de Groot of J. L. Snoek, en een aantal dissertaties uit de Leidse tijd. Daarin wordt o.a. voor een zeer groot aantal verbindingen de bijdrage van de elektrostatiche wisselwerking tot de cohesie-energie afgeleid, zoals deze o.a. tot uiting komt in de kookpunten. Uiteraard spelen dipoolmoment en polariseerbaarheid daarbij een rol, maar het verrassende is, dat in deze stukken, grotendeels uit de twintiger jaren, al wordt aangetoond, dat voor vele molekulen een meer gedetailleerde beschouwing van de ladingsverdeling noodzakelijk is, b.v. via de localisatie van partiaal-momenten, terwijl ook het begrip „periphere dipool” wordt ingevoerd voor wat later „waterstofbinding” zou worden genoemd.

Ik heb mij vaak verbaasd over de grote intensiteit, waarmee Van Arkel zijn wetenschappelijke activiteiten bedreef. Dat heeft zich niet alleen geopenbaard in zijn enorme produktiviteit op een groot aantal sterk gespreide gebieden van onderzoek, maar ook in een sterke gedrevenheid zijn gedachtengang en zijn kennis over te dragen aan anderen. Dat laatste kwam natuurlijk na 1934, in de periode van zijn hoogleraarschap, bijzonder goed tot zijn recht, maar ook in zijn Eindhovense periode waren de symptomen daarvan al duidelijk aanwezig. Bij zijn komst in Eindhoven begon hij al spoedig met een avond-cursus in de fysische chemie voor zijn assistenten (meestal HBS-ers) bij hem thuis. Een van hen (J. D. Fast) vertelde mij onlangs, dat hij nog altijd met grote dankbaarheid aan deze lessen teruggedacht. Eenzelfde ervaring heb ik opgedaan in mijn eigen eerste contacten met Van Arkel. In 1931 nam ik deel aan een zomervergadering van de Ned. Chem. Vereniging te Eindhoven, en als belangrijkste herinnering daaraan heb ik nog altijd de voordracht en demonstratie op het Natuurkundig Laboratorium van een infrarood-onderzoek over de verschillende wijzen, waarop „kristalwater” in anorganische verbindingen gebonden kan zijn.

Niet alleen het feit, dat aan zo'n fundamenteel onderzoek op een industrielaboratorium aandacht werd besteed, maar ook het enthousiasme van de voordrager, heeft toen grote indruk op mij gemaakt. Diezelfde avond was er een feestelijke bijeenkomst, waar ik mij graag onderworpen heb aan een privatissimum, waarin hij een groot aantal van zijn ideeën op mij gespuid heeft. Datzelfde is mij nogmaals overkomen, maar veel uitvoeriger, toen ik in 1934 nog een aantal maanden voor zijn vertrek naar Leiden bij hem werkte. Kenmerkend is, dat hij na zijn komst in Leiden een avondcollege instelde, om het in zijn ogen schromelijk tekort aan kennis van de fysische chemie van de daar al aanwezige studenten bij te spijkeren. Van zijn vele oud-leerlingen kan men horen, hoezeer Van Arkel beheerst werd door het verlangen, zijn fenomenale, haast encyclopedische, kennis over te dragen en te doen voortleven bij anderen. Deze kennis, overigens, beperkte zich geenszins tot het eigen vak. In gesprekken met hem kon hij vaak een brede kennis ten toon spreiden op zeer veel gebieden van de alpha en bèta-wetenschappen,

en met name kon hij daarbij getuigen van zijn liefde voor en vertrouwdheid met alles wat er groeide en bloeide en aan schoonheid te beleven viel in de vrije natuur. In alles was hij een man van cultuur. Een gesprek met Van Arkel was meestal een bijzondere belevenis, en kon, als dat zo uitkwam, tot diep in de nacht duren, want hij was op dat punt onvermoeibaar. Bij zulke gelegenheden kon hij ook opeens een ontspannen mens zijn. Kenmerkend is ook het verhaal van een van zijn oud-leerlingen over zijn laatste „tentamen” fysische en anorganische chemie, dat begon in Van Arkel's studeerkamer 's avonds om 8 uur. Toen om half elf de professor alweer een nieuw onderwerp aansneed liet de tentaminandus zijn ongerustheid blijken over een misschien gebleken onvoldoende kennis van de stof. Maar het antwoord was: „O, dat tentamen? Daar was je een uur geleden al voor geslaagd”. Het „gesprek”, evenwel, werd voortgezet, tot 2 uur 's nachts.

De intensiteit, waarmee dit alles bedreven werd, stempelde hem tevens tot een mens, die hoge eisen stelde. In de eerste plaats tegenover zichzelf. Dat blijkt uit de vele, soms enige malen herschreven, boeken en geschriften, waarin hij zijn denkwereld en kennis uitdroeg, en waarvan zojuist al een aantal genoemd zijn. In de tweede plaats tegenover zijn medewerkers en leerlingen, waardoor hij de naam had, soms een ongemakkelijk mens te zijn (ook als gecommiteerde bij eindexamens!). Maar deze veeleisendheid werd al spoedig geapprecieerd als consequentie van een rechtlijnigheid in zijn karakter, waarin geen compromissen aanvaard werden. Deze principiële levenshouding bracht o.a. met zich mee, dat hij in 1940 onmiddellijk deelnam aan het verzet tegen de bezetter, hetgeen tot gevolg had, dat hij zich een groot deel van de oorlogsperiode moest schuil houden op verschillende plaatsen en adressen, waaronder weer het Natuurkundig Laboratorium in Eindhoven.

Deze strijdlustige kant van zijn natuur heeft hem ongetwijfeld geholpen met grote hardnekkigheid de lijn voort te zetten, die hij voor het overgrote deel van anorganische verbindingen als belangrijk zag: het aftasten van de grenzen van de elektrostatische benadering door de ionenbinding als primair te stellen bij de studie van de bouwprincipes. Van de 40 dissertaties, die onder zijn leiding tot stand kwamen, is vooral na de oorlog een groot aantal gewijd aan het opsporen en de studie van allerlei verbindingen, die in deze lijn pasten.

In de jaren 1951 en 1952 heeft Van Arkel door verscheidene uitnodigingen de kans gekregen om in Canada en de Verenigde Staten door voordrachten of op andere wijzen zijn denkwereld over te brengen. In zijn afscheidscollege kan hij tevreden vaststellen, dat de ionenbinding intussen ook in deze landen ontdekt is.

Bezien we de situatie op dit ogenblik, 13 jaren na Van Arkel's afscheidscollege, dan kunnen we alleen maar vaststellen, dat zijn benaderingswijze door allerlei ontwikkelingen nog aan kracht en betekenis voor het begrip van de chemische bindingen in moleculen en kristallen, en ook voor intermoleculaire krachten, gewonnen heeft. Het is daarvoor gewenst eerst nader in te gaan op de relatie tot de kwantummechanische theorie van de wisselwerking van atomen en moleculen. Deze theorie is geruime tijd na de beschouwingen van Kossel en ook na de eerste stukken van Van Arkel en De Boer tot ontwikkeling gekomen. Het was natuurlijk duidelijk, dat de Kosselse theorie nooit een verklaring kon geven voor de binding tussen twee gelijke atomen, b.v. voor 't molecuul H_2 , resp. voor die in de meeste organische moleculen (om te beginnen, van b.v. C_2H_6). Hier bracht de kwantum-

mechanica uitkomst. In 1927 verschijnt het bekende artikel van Heitler en London, waarin een eerste poging gedaan wordt om op basis van deze theorie de binding tussen twee waterstofatomen te beschrijven.

In principe kan men inderdaad alle interatomaire of intermoleculaire wisselwerkingen (b.v. een bindingsenergie) berekenen met behulp van de golfmechanica. De wisselwerking wordt primair bepaald door het geheel van wisselwerkingen tussen kernen en elektronen van het beschouwde systeem, waarbij de voorwaarde vervuld moet zijn, dat het systeem van elektronen voldoet aan de (meer-dimensionale) Schrödinger-vergelijking. Voor een meer kwantitatieve behandeling, zelfs voor systemen met weinig elektronen, zijn dan echter zeer drastische benaderingen nodig voor het opstellen van de nieuwe golf functie. Pas in de laatste decennia is het gelukt, met behulp van methoden van successieve benaderingen en met inschakeling van grote rekenmachines, iets ingewikkelder gevallen of deelsystemen te behandelen, maar ook daarbij zijn nog vereenvoudigende veronderstellingen onvermijdelijk.

In deze beschouwingwijze is geen plaats meer voor een scherpe onderscheiding van homoöpolaire en heteropolaire binding. Dit neemt niet weg, dat voor meer heteropolaire verbindingen de behandeling als ionenbinding een benadering is, die ook kwantummechanisch te rechtvaardigen is (H. A. Kramers), en het enorme voordeel heeft, dat met eenvoudige berekeningen waarden voor atoomafstanden en bindingsenergieën worden verkregen, die goed met de gemeten waarden overeenstemmen. Bij deze berekening wordt uitgegaan van een aantal empirische gegevens (b.v. de ionenstralen), terwijl op de berekende Coulomb-wisselwerking (inclusief de wederzijdse polarisatie) nog een aantal correcties moeten worden aangebracht voor de afstotingspotentialen en de London-Van der Waals attractie, die elk voor zich kwantummechanisch gefundeerd kunnen worden. Daarnaast is er nog de mogelijkheid van kation-kation of anion-anion binding bij ionen met een niet-edelgasachtige elektronen configuratie, die beide de op ionen-binding berustende grondstructuur kunnen modificeren. Een aantal van bij Van Arkel bewerkte dissertaties zijn aan dit soort merkwaardige verbindingen gewijd. Historisch interessant is nog, dat de eerste publikaties van Van Arkel en De Boer (dus nog vóór Heitler en London) handelen over elektronenegatieve waterstof en over de bindingskrachten in en tussen moleculen van het type XY_4 , waarin $X = C$ of Si en $Y = H, F, Cl, Br, I$ of mengsels daarvan. Voor een molecuul als CH_4 werd dus aangenomen, dat het uit C^{4+} en $4H^-$ is opgebouwd. De berekende waarden voor de atoomafstanden en bindingsenergieën van dit soort moleculen op grond van dit model waren niet onbevredigend. In 1939 is door Biedermann en S. R. de Groot een eerste benadering van het CH_4 -molecuul op kwantummechanische grondslag gegeven; een redelijk goede beschrijving kan worden verkregen op de basis van een ladingsverdeling, die niet sterk afwijkt van die van het ionenmodel. Zelfs in een zo extreem geval als het CH_4 -molecuul was de elektrostatische benadering van de binding dus nog wel enigermate bruikbaar.

Door een aantal ontwikkelingen van de laatste jaren is de belangstelling voor de elektrostatische benadering opnieuw toegenomen. Een en ander kwam o.a. tot uiting op het internationale symposium, dat Van Arkel's vrienden en leerlingen in 1974 na het bereiken van zijn 80ste verjaardag organiseerden, als blijk van waardering voor zijn werk en zijn persoon. De voordrachten (uitgegeven in

boekvorm door C. J. M. Rooymans en A. Rabenau: „Crystal Structure and Chemical Bonding in Inorganic Chemistry” (North Holland Publ. Co. and American Elsevier, 1975)) bewogen zich op de vele gebieden, die Van Arkel in zijn werkzaam leven heeft bestreken. Een aantal daarvan behandelen aspecten van de relatie van de elektrostatische en de kwantummechanische behandeling van de bindingskracht (b.v. die van Klemm, L. Jansen, Nieuwpoort). Jansen geeft daarin een overzicht van werk van hemzelf en anderen, dat o.a. aantoonde, dat met een betere kwantummechanische behandeling van de afstotingskrachten zelfs voor II-VI-verbindingen als Zn S en voor III-V-verbindingen een beschrijving op de basis van ionenbinding tot uitstekende resultaten leidt voor een verklaring van b.v. de structuur.

Nog helemaal in ontwikkeling is de behandeling van de bindende krachten in systemen van moleculen, die in de biochemie een rol spelen (conformatie van eiwitten, nucleïnezuren, enz.). Naast Van der Waals-London krachten spelen hier krachten tussen polaire groepen (bv. de waterstofbinding) een rol, die met een elektrostatische benadering toegankelijk worden voor berekening. Interessante pogingen in deze richting zijn o.a. gedaan door Scheraga en medewerkers. Daarbij wordt dan (ook bij de berekening van de afstotingskrachten) uitgegaan van een subtielere ladingsverdeling in de desbetreffende moleculen (b.v. water) en molecuulgroepen, dan tot nu toe in dit soort benaderingen gebruikelijk.

Vooraf na zijn emeritaat heeft Van Arkel nog veel aandacht gegeven aan de voorbereiding van de vervulling van een al eerder gekoesterde wens: nog eens een samenvattend boekwerk over de hele anorganische chemie te schrijven, waarin het feitenmateriaal zou worden gerangschikt en in onderling verband gebracht volgens zijn ideeën over binding en bouwprincipes. Ons universitaire bestuur is echter niet op een dergelijke ambitie van een emeritushoogleraar ingesteld. Al spoedig bleek, dat zo'n omvangrijke taak niet zonder assistentie zou kunnen worden volbracht. Pogingen, om de hulp van een jonge pas-afgestudeerde chemicus voor dit werk te verkrijgen langs de daarvoor geëigende kanalen stuitte af op het exceptionele karakter van dit verzoek. Een en ander doet de vraag rijzen, of, in uitzonderlijke gevallen, niet een weg kan worden geopend voor het stimuleren van zo'n late wetenschappelijke activiteit. Zelfs al zou het maar gelukt zijn, dat Van Arkel op deze wijze enkele *Capita Selecta* uit zijn brede overzicht over zijn vak af had kunnen maken, dan is door het gebrek aan deze mogelijkheid aan de wetenschap iets heel bijzonders onthouden.

Addendum door W. G. Burgers

Een bij vele fysici en chemici minder bekend gebied van onderzoek, waarop Van Arkel in zijn Philips-tijd (1921–1934) baanbrekend werk heeft verricht, dat in die tijd voor Nederland uniek mag worden genoemd, betreft de plastische vervorming en rekristallisatie van metalen. Hij was de eerste, die in 1925, tegelijk met W. P. Davey van het General Electric laboratorium in de Verenigde Staten, vaststelde dat sterk plastisch vervormde metalen in een Debye-Scherrer opname verbrede diffractielijnen kunnen vertonen. Bij een door een treksteen getrokken wolframdraad was dit duidelijk te zien bij gebruik van koper $K\alpha$ -straling, doordat het doublet karakter van iedere diffractielijn, veroorzaakt door de dicht bij elkaar

gelegen $K\alpha_1$ en $K\alpha_2$ golflengtes, tot een band vervaagd was. Een dergelijke vervaging kan het gevolg zijn van inwendige spanningen in het vervormde metaal, waardoor roostergebiedjes met een wat vergrote en een wat verkleinde roosterconstante met elkaar afwisselen.

Een andere mogelijkheid is dat de sterke vervorming de oorspronkelijke kristalieten waaruit het metaal is opgebouwd heeft stukgebroken in gebiedjes van zeer kleine afmeting ($< 1 \mu\text{M}$). Van Arkel schreef de verbreding aan de eerste oorzaak toe op de volgende grond: Indien inwendige spanningen de verbreding veroorzaken wordt deze bepaald door de verhouding van de vloeigrens van het metaal tot zijn elasticiteitsmodulus, omdat de spanningen niet boven de vloeigrens kunnen stijgen. Deze verhouding ligt bij wolfram in de orde van 2 promille, en dit is ook de orde van grootte van het golflengteverschil tussen de twee lijnen van het $\text{Cu-K}\alpha_1\alpha_2$ -doublet, zodat de vervaging daarvan begrijpelijk is. Een metaal als lood, met zeer lage vloeigrens, vertoont dan ook geen lijnverbreding bij deformatie.

Het tweede bovengenoemde verschijnsel, rekristallisatie van een metaal, treedt op indien dit, na plastisch te zijn vervormd (b.v. gerekt of gewalst) op hoge temperatuur wordt gegloeid. Er vormen zich dan in het metaal nieuwe onvervormde kristalieten ten koste van de oorspronkelijk vervormde. Dit verschijnsel speelt in een bedrijf, dat zich met de vervaardiging van gloeilampen bezig houdt, een uiterst belangrijke rol: de vorm en grootte van de kristalieten, die zich hierbij in de hooggloeïende wolframdraad vormen, bepalen in belangrijke mate de levensduur van de lamp. Het is dan ook begrijpelijk, dat in een gloeilampenfabriek onderzoek over de rekristallisatie van wolfram een belangrijk gebied van studie vormt. Wolfram is echter door zijn hoog smeltpunt, en daardoor hoge rekristallisatietemperatuur, geen gemakkelijk metaal om rekristallisatieproeven aan te verrichten.

Van Arkel kwam nu op het idee dergelijk onderzoek aan metalen met een laag smeltpunt als aluminium, zink en tin uit te voeren. Vooral aluminium leende zich hiervoor bij uitstek, aangezien het zonder meer aan de lucht kan worden verhit in eenvoudige ovens, waarin slechts temperaturen van enkele honderden graden bereikt behoeften te worden. In bepaalde gevallen konden ook glazen kolven met een lange hals als oven worden gebruikt door daarin hoogkokende vloeistoffen, als b.v. aniline, tot hun kookpunt te verhitten en de te onderzoeken metalen proefstukken (b.v. bandjes van enkele cm lengte) in de hals te hangen, waar zij in de damp op goed reproduceerbare „gloeitemperaturen” werden verhit. Door een en ander was het mogelijk het rekristallisatieproces bij de genoemde metalen op systematische wijze, met behulp van eenvoudige proeven te bestuderen en het rekristallisatieverloop als functie van vervormingsgraad, gloeiduur, gloei-temperatuur, en dergelijke grootheden vast te leggen. De resultaten hiervan zijn in een serie artikelen van Van Arkel en zijn toenmalige medewerkers, in het bijzonder M. G. van Bruggen en J. J. A. Ploos van Amstel, in de twintiger jaren gepubliceerd.

Een van de controversiele vragen hierbij was wat men onder de kiem van een bij rekristallisatie groeiend kristal moet verstaan. Het leek waarschijnlijk, dat bepaalde bestaande roostergebiedjes in het vervormde metaal als zodanig optreden. Er bestonden hierover echter twee opvattingen: Volgens de ene waren het die gebiedjes, die bij de voorafgegane deformatie zo weinig mogelijk vervormd waren gebleven en diensgevolge energetisch stabielere waren dan hun vervormde

omgeving, zodat zij zich bij verhitting ten koste van deze konden vergroten. Van Arkel was geen aanhanger van deze opvatting, omdat bekend was, en ook uit zijn bovengenoemde systematische proeven was gebleken, dat het aantal bij rekristallisatie nieuw gevormde kristallen in het algemeen met toenemende vervormingsgraad *toeneemt*, terwijl men juist zou verwachten dat het aantal weinig verstoorde gebieden dan zou afnemen. Bovendien konden hij en zijn medewerkers door een bijzonder originele proef aantonen dat een roostergebiedje dat zwak vervormd is niet ten koste van een sterk vervormde omgeving uitgroeit. Volgens Van Arkel zouden het juist de *méést* vervormde gebieden in een vervormd metaal zijn die als kiem van nieuwe kristallen fungeren. Gedacht werd daarbij, dat dergelijke gebieden, door hun verhoogde potentiële energie, bij de verhitting spontaan door „ontspanning” in storingsvrije gebieden konden overgaan, die dan hun vervormd gebleven omgeving konden assimileren.

In deze opvatting paste een met P. Koets uitgevoerde proef, waarbij proefplaatjes ijzer gegloeid werden boven de temperatuur (910°C) waarbij dit metaal van de beneden deze temperatuur stabiele α -fase in de erboven stabiele γ -toestand overgaat. Het bleek, dat het aantal γ -kristallieten dat bij de overgang ontstond, groter was indien het proefplaatje *vóór* de verhitting door plastische deformatie (walsen) was vervormd. Bij een fasenomzetting, zoals in het ijzer optreedt, zou men verwachten dat deze normaliter uitgaat van roostergebiedjes waarin door de aanwezigheid van roosterfouten (b.v. dislokaties) de roosterenergie plaatselijk was verhoogd. Dit is *a fortiori* het geval op de door plastische vervorming sterk gestoorde plaatsen en deze „rekristallisatiekiemplaatjes” zouden dus ook als transformatiekiemen kunnen optreden en zo het aantal nieuwe kristallen in het omgezette metaal vergroten.

Het accentueren in dit levensbericht van Van Arkel's onderzoek op het gebied van de vervorming en rekristallisatie van metalen leek gerechtvaardigd, omdat, zoals boven reeds gezegd, het een terrein van Van Arkel's wetenschappelijk werk betreft, dat minder algemeen bekend is, terwijl hierbij in het bijzonder zijn vindingrijkheid en originaliteit in het bedenken van eenvoudige, maar toch „to the point” zijnde proeven tot uiting is gekomen.

