

Bibl. Hoofdkantoor TNO
's-Gravenhage

11 JULI 1984

Een Halve Eeuw

Chemische Bindingen

Afscheidscollege

gegeven op 22 september 1983 door
Prof. dr G.J.M. van der Kerk
buitengewoon hoogleraar in de
Organische Chemie aan de
Rijksuniversiteit te Utrecht.

"Een halve eeuw chemische bindingen". De inhoud van mijn afscheidscollege omvat voor mij zowel de realiteit als een getuigenis.

De realiteit - mijn realiteit uiteraard - wordt bepaald door de wijze waarop ik, sinds ik in 1931 aan deze Universiteit de eigenlijke scheikunde-studie aanving, de chemie heb ervaren en beoefend, maar niet minder door de intermenselijke en structurele kaders waarbinnen mijn activiteiten zich hebben afgespeeld. Het getuigenis - hoe kan het anders! - is moeilijker te omschrijven, want het geloof bevat het bewijs der dingen die men niet ziet. Mijn geloof in, kritische kanttekeningen bij en verwachtingen nopens de chemie - als autonome wetenschap en als universitaire en maatschappelijke activiteit - zullen dan ook vooral impliciet in mijn betoog zijn terug te vinden.

Chemie is de wetenschap aangaande de eigenschappen, de omzettingen, de samenstelling en de structuur van atomaire en moleculaire systemen. De taak die ik mij in dit uur heb gesteld houdt op zijn minst in, dat ik aanduid wat een chemische binding is. Uiteraard weten wij dit nog niet precies, iets wat overigens geldt voor alle natuurwetenschappelijke basisbegrippen, wat ons echter niet verhindert dergelijke begrippen vaardig en inzichtvermeerderend te hanteren. Kosmisch gezien zijn "chemische bindingen" - tenminste wat wij daar onder verstaan - zeldzaam en domineren de kernreacties sterk over de chemische reacties. Organische moleculen, en a fortiori de levensprocessen zoals wij die kennen, bestaan slechts bij de gratie van de unieke en enge temperatuurs- en stralingsgebieden die kenmerkend zijn voor het perifere deel van onze aardbol, terecht dan ook aangeduid als de biosfeer. Simpel gezegd, is ook de chemische binding in algemene zin een perifeer verschijnsel.

Chemische bindingen komen namelijk uitsluitend tot stand door interacties van ruimtelijk uitgebreide, zich rond de zeer kleine en zware atoomkernen bevindende, electronenwolken, en daarvan is dan nog slechts het perifere gedeelte - de valentie-electronen - direct bij de eigenlijke chemische binding betrokken.

Waar "stond" de chemie rond 1930? In meerdere opzichten blijkt dit tijdstip achteraf bezien voor de chemie als geheel een demarcatiepunt te zijn: de overgang van het overwegend empirische naar het inzichtelijke tijdperk. Natuurlijk zijn er - achteraf - ontwikkelingen aan te wijzen die op de toekomst vooruitliepen en andere die om onbegrijpelijke redenen in het verleden werden gemist en pas veel later werden gerealiseerd. Tot de eerste categorie behoren vooral die aspecten van de chemie, zoals de chemische thermodynamica, de fysische chemie en naderhand de quantumchemie, die dicht aanleunden tegen de fysica. Dit leidde ooit tot de nogal pedante uitspraak, dat de chemie slechts een in beginsel gekend onderdeel zou zijn van de natuurkunde, behept met nog te moeilijke wiskundige problemen. Deze uitspraak is uiteraard van hetzelfde kaliber en dus evenzo te waarderen als de constatering, dat Utrecht de enige stad is in Nederland waar Dom met een hoofdletter wordt geschreven. Tot de tweede categorie reken ik de renaissance die sinds 1951 in gang is gezet. In dat jaar werd een toevalsontdekking beschreven - insiders weten dat ik doel op het curieuze biscyclopentadienylzilver, veelal aangeduid als ferrocen - die een inzichtelijke revolutie ontketende binnen de chemie. Het waren vooral de uitzonderlijke eigenschappen van deze verbinding die een onweerstaanbare uitdaging vormden. Binnen een jaar bleek, dat deze verbinding een tot dusver niet onderkend structuur- en bindingstype representeerde. Om dit duidelijk te maken ga ik nog verder terug in de tijd.

Kort voor de eeuwwisseling had de organische chemie een grote voorsprong op de anorganische. Terwijl sinds het midden van de 19^e eeuw de organische chemie op basis van de theorieën van Butlerov, Kékulé en Van't Hoff over een logisch en consistent structuur-systeem beschikte, had men voor de grillige samenstelling van vele metaalverbindingen geen structurele

verklaring. Deze werden dan ook aangeduid als "metaal-complexen". Achteraf zien wij in, dat het concept van de constante waardigheid der elementen slechts voor koolstof een hoge realiteitswaarde heeft en zo kon leiden tot de succesvolle ontwikkeling van de organische structuurchemie, maar dat het als wijdere doctrine de ontwikkeling van de anorganische structuurchemie heeft geblokkeerd. De doorbraak kwam na 1890 van Alfred Werner, de grondlegger van de coördinatieleer. Hij schiep orde in de chaos door twee hoofdpostulaten, die werden opgesteld 20 jaar vóór Lewis de kovalente binding beschreef als een twee-electron interactie tussen bindende atomen.

Wij weten thans dat coördinatie tot stand komt door combinatie van op zichzelf bestaانبare atomen, moleculen of ionen met resp. electron-acceptor en electron-donor eigenschappen. In de metaal-coördinatieverbindingen functioneren metalen en metaalionen als electron-acceptoren voor electron-donerende eenheden van zeer uiteenlopende aard die worden aangeduid als liganden. In de metaalcomplexen bevinden de liganden zich binnen de coördinatiesfeer van het metaalcentrum, waaraan zij via donor-acceptor electroneninteracties min of meer kovalent zijn gebonden. De niet-coördinatief gebonden groepen bevinden zich verder van het metaal af en staan in een ionenrelatie met de complexe ionen. Met de ontdekking in 1951 van de eerste representant van de zogenaamde "sandwich verbindingen", het ferrocene, is het inzicht ontstaan dat niet alleen op atomen gelocaliseerde, niet-bindende electronenparen donorfuncties kunnen uitoefenen, maar ook gelocaliseerde en gedelocaliseerde systemen van π -electronen die zo kenmerkend zijn voor organische liganden. Coördinatie is dan het gevolg van de hybridiserende interactie van zulke donorfuncties met geschikte metaal-orbitalen, waarbij, in afhankelijkheid van de aard der liganden en van het betreffende metaal en zijn oxydatietoestand, coördinatieverbindingen ontstaan met een min of meer gefixeerde ruimtelijke bouw. Het revolutionaire van dit inzicht was, dat de traditionele gelocaliseerde bindingsrelatie van atoom tot atoom - die zo bepalend is geweest voor de gescheiden ontwikkeling zowel van de organische structuurchemie als van de klassieke anorganische coördinatiechemie - werd vervangen door een gedelocaliseerde bindingsrelatie. Hier werd tevens een

relatie gelegd zowel met het klassieke Lewis-concept, waarin elke gelocaliseerde chemische binding als een twee-electron interactie wordt omschreven, als met de reeds lang bekende coördinatiebinding van hoofdgroep- en van overgangsmetalen, waarbij ligandemoleculen, die atomen met niet-bindende electronenparen bevatten, deze electronen onder vorming van een gelocaliseerde binding doneren aan onbezette en geschikte metaalorbitalen. Dit gegeneraliseerde concept aangaande de chemische binding heeft grote consequenties gehad, die zelfs thans in hun uitwerking nog niet zijn te overzien. Zoals steeds konden een reeks onbegrepen, ten dele reeds zeer oude waarnemingen moeiteloos worden verklaard, maar inhoudelijk nog belangrijker is, dat de in de vorige eeuw ontstane scheiding tussen de anorganische chemie en de organische chemie, en daarmee de kloof tussen de anorganische en de organische denkwijze, conceptueel is opgeheven.

Zo is van lieverlede het inzicht gegroeid dat de coördinatieve interactie van metalen en metaalionen met liganden een wederzijdse elektronische beïnvloeding ten gevolge heeft. Die interacties resulteren niet slechts in een rangschikkend, maar tevens in een modificerend effect van het metaal op de liganden, waardoor hun chemische eigenschappen en hun reactiviteit zowel in kwalitatieve als in kwantitatieve zin worden beïnvloed. Zo kan hun activeringsenergie worden verlaagd, waardoor reactiewegen worden geopend die voor de vrije liganden thermodynamisch wél, maar kinetisch niet mogelijk zijn. De combinatie van de organiserende en de modificerende functies van metaalcentra heeft geleid tot geheel nieuwe inzichten op velerlei gebied.

Men is zich met name bewust geworden van de ontzaglijke betekenis van metalen voor het verloop van organisch-chemische reacties, zowel in niet-levens- als in levensprocessen. Bij de niet-levensprocessen denk ik in de eerste plaats aan de grote industrieële betekenis van metalen in de moderne petrochemische en andere technische processen, waaraan de begrippen heterogene en homogene katalyse zijn verbonden.

Een aantal metalen - exacter gezegd metaalionen - zijn onontbeerlijk voor het verloop en de regulering van levensprocessen, en zijn derhalve essentieel voor alle levensvormen.

Voor mij het opmerkelijkst is het systeem dat de natuur heeft ontwikkeld voor het in energetische zin meest essentiële levensproces op aarde, nl. de absorptie van zonne-energie en de omzetting daarvan in chemische energie via de koolzuurassimilatie der groene planten, waarvan op directe of indirecte wijze al het dierlijke leven volledig afhankelijk is. De daarbij betrokken groene bladkleurstof chlorophyll, is een macrocyclisch tetrapyrroolsysteem dat als functioneel element een gecoördineerd Mg^{2+} -ion bevat. Het is hoogst opmerkelijk, dat de dierlijke rode bloedkleurstof, die het zuurstoftransport verzorgt, chemisch gezien een soortgelijke bouw heeft, maar dat hier het actieve centrum een Fe^{2+} -ion is. De fysiologisch goede afloop van het overgrote deel der levensprocessen hangt af van de aanwezigheid en de beschikbaarheid van een reeks van metalen, soms in zulke kleine hoeveelheden dat zij als sporenelementen worden aangeduid (uiteraard behoren ook een aantal niet tot de metalen gerekende elementen tot de levensessentia).

In algemene zin kan men zeggen, dat voor het welzijn van levende organismen, waaronder de mens, de veelal genetisch bepaalde primaire sturingsmechanismen slechts goed functioneren op basis van een optimale regulering der secundaire stofwisselingssystemen en dat beide voor een niet gering deel door metaalafhankelijke processen worden beheerst.

Het is geen toeval dat zowel de "natuur" als de "cultuur" gebruik hebben leren maken van metaalcentra als essentiële bestanddelen van systemen, die enerzijds de biochemische energie- en stofomzettingen, en anderzijds de door de mens gecreëerde moderne industriële chemische processen beheersen. De natuur heeft hiervoor de immense tijd van de biologische evolutie ter beschikking gehad. De mens heeft het sneller gedaan. Sinds Berzelius in 1836 het begrip "katalyse" introduceerde zijn de katalytische effecten van metalen in de chemisch-industriële revolutie steeds belangrijker geworden, een ontwikkeling die na het historische jaar 1951 in een nog sterkere stroomversnelling is geraakt.

De hereniging van anorganische en organische chemie is thans belichaamd in een brede discipline, die wordt aangeduid als de organometaal- en coördinatiechemie. In het voorafgaande heb ik getracht van deze ontwikkeling een eenvoudig beeld te geven.

De organiserende en modificerende functies van metaalcentra ten aanzien van liganden hebben van uit de quantummechanica en de theoretische chemie een schitterende verklaring gevonden in de ligand-velde theorie en de theorie der molecuulorbitalen. De bijzondere plaats en eigenschappen van de overgangsmetalen ten opzichte van de hoofdgroepmetalen kunnen thans moeiteloos worden begrepen en benut. Maar inhoudelijk nog belangrijker is de geïntegreerde wijze waarop thans de chemische binding - grondslag van onze materiële wereld - kan worden beschreven.

Het is een voorrecht te kunnen zeggen, dat men ruim vijftig jaren het vak van zijn keuze heeft beoefend en daarbinnen zeer gevarieerde taken heeft mogen uitoefenen, en dat die lange periode vrijwel continu vervuld is geweest van arbeidsvreugde en satisfactie. Zo en niet anders kijk ik terug op mijn studie en op mijn beide hoofdactiviteiten daarna: directeur van het Organisch Chemisch Instituut TNO (thans, in combinatie met het voormalige Fysisch Chemisch Instituut TNO, het Instituut voor Toegepaste Chemie TNO) en hoogleraar aan de Rijksuniversiteit, beide te Utrecht. Maar niet minder op een daaraanvoorafgaande vierjarige werkzaamheid in de industrie en op de vele plaatselijke en landelijke functies van bestuurlijke aard die ik heb vervuld. Als ik de voorafgaande sprekers van hedenmiddag mag geloven schijn ik een stimulerende invloed uit te oefenen; als zij gelijk hebben is dit iets om dankbaar voor te zijn, omdat het op zijn minst een intensieve interactie met mensen impliceert. Zelf ben ik mij er van bewust dat ik de grens tussen stimuleren en prikkelen dikwijls heb overschreden, en - het zij toegegeven - dit vooral in mijn bestuurlijke activiteiten niet altijd onopzettelijk.

Gedurende vele jaren ben ik intens betrokken geweest bij de twee instellingen onder één dak, die ik noem in de volgorde waarin zij mij hebben gemotiveerd. Op de eerste plaats komt dan het toenmaals binnen de Nederlandse Centrale Organisatie TNO opererende Organisch Chemisch Instituut TNO, waaraan ik sinds de oprichting op 1 maart 1946 zelf vorm en inhoud heb mogen geven. Een goede tweede is echter naderhand de Vakgroep Organische Chemie binnen de Subfaculteit Scheikunde aan deze Universiteit geworden.

In 1957 werd ik bijzonder hoogleraar in de technische organische chemie en van 1960 tot eind augustus jongstleden was ik buitengewoon hoogleraar in de organische chemie, met een driejarige onderbreking van al dat bijzondere en buitengewone door iets gewoons, van sept. 1975 tot sept. 1978, gekoppeld aan het dekaanschap van de Subfaculteit Scheikunde, wat voor mij achteraf gezien toch een ietwat ongewone situatie is geweest - maar daarover later meer. Mijn bijzondere leeropdracht had betrekking op de toegepaste organische chemie, d.w.z. op nieuwe, maatschappelijk bruikbare organische producten en processen, een ontwikkeling die in het buitenland reeds lang en in Nederland pas na de 2^e Wereldoorlog op gang was gekomen. Ik kon derhalve regelrecht putten uit mijn TNO-ervaring en mijn onderwijs had o.a. betrekking op de relatie tussen chemische structuur en biocide - in het bijzonder fungicide - werking, op het biochemische werkingsmechanisme van biociden, op de chemie van polymeren en kunststoffen en op nieuwe ontwikkelingen binnen de petrochemie.

Over mijn activiteiten als directeur van het OCI-TNO zal ik hier betrekkelijk kort zijn, maar ik heb het zeer gewaardeerd dat twee van de drie sprekers van hedenmiddag op die werkperiode hebben gewezen. Ik heb de vervulling van mijn taak als directeur van het OCI in gelijke mate als een voorrecht en als een voortdurende uitdaging ervaren. Het geeft mij nog steeds een rijk gevoel om in 1946 met niets te zijn gestart en samen met een groeiende staf van voortreffelijke medewerkers bij mijn vertrek in 1975 te hebben kunnen wijzen alleen al naar een wetenschappelijke nalatenschap van ruim 500 publicaties en 26 dissertaties van stafleden, zich uitstrekkende over vele gebieden en onderwerpen. Dit is iets om met dankbaarheid op terug te zien en dat doe ik dan ook nog steeds.

Een onderzoeksthema van het eerste uur was op het OCI-TNO de bestudering van de biologische effecten van organische moleculen, in het bijzonder gericht op de problematiek van de gewasbescherming in land- en tuinbouw. Naderhand werd daaraan het technisch en economisch belangrijke gebied der materiaalbescherming toegevoegd. Reeds vroeg werden ook de bestrijding van ziektevectoren bij mens en dier en de chemotherapie van

kanker in het onderzoek opgenomen. Het verheugt mij dat zeer recentelijk op dit laatste gebied een opmerkelijk succes is behaald. Omdat dit onderzoeksthema, behalve in algemene zin, geen directe consequenties had voor mijn eigenlijke universitaire taken en het bovendien vanmiddag al door Dr. J. Overeem ter sprake is gebracht zal ik het hier niet detaileren. Slechts merk ik op dat het, in aangepaste vorm, nog steeds een onderdeel is van het werkprogramma van het TNO-instituut.

Een tweede - ook reeds oud - onderzoeksthema van het OCI-TNO wat ik hier noem heeft echter sterke repercussies gehad voor het grootste deel van mijn universitaire activiteiten. Eind 1949 aanvaardde ik de uitnodiging van de International Tin Research Council tot het verrichten van exploratief onderzoek in de wijdeste zin op het gebied van de organische chemie van het metaal tin, de organotinchemie. De bedoeling was het vinden en stimuleren van toepassingen van organotinverbindingen. Er waren enkele aanzetten, maar de totale wereldproductie van zulke verbindingen bedroeg in 1950 minder dan 100 ton per jaar. Dit onderzoek is van aanvang af succesvol geweest; de huidige jaarproductie aan uiteenlopende typen van organotinverbindingen wordt geschat op meer dan 30.000 ton met een marktwaarde van over 600 miljoen gulden en de toepassingen - die grotendeels zijn voortgekomen uit basisontwikkelingen van het OCI-TNO - zijn over vele deels ongerelateerde gebieden gespreid. Het gevolg was dat het Instituut vrij spoedig soortgelijke samenwerkingen van kortere of langere duur, gericht op de organische chemie van andere metalen, opbouwde met een reeks internationale researchorganisaties en met buiten- en binnenlandse industrieën. Ook eigen voorkeuren van het OCI werden in het werkprogramma opgenomen. Van lieverlede werden zo de hoofdgroepmetalen germanium, lood, antimoon, bismuth en borium, en de overgangsmetalen zink, koper, zilver, goud en vanadium, plus naderhand nog andere, mede in het onderzoek betrokken.

Dat mijn oud-medewerkers en persoonlijke vrienden Jan Overeem en Jan Noltes hier mijn TNO-activiteiten hebben belicht heeft mij verheugd en ontroerd. Ik kan alléén maar zeggen, dat het met mensen van dit formaat om je heen - en dan denk ik daarnaast aan vele anderen die hier ongenoemd blijven - niet zó'n

kunst is om iets goeds op te bouwen. Met dankbaarheid releveer ik hier het gedenboek dat mij bij mijn afscheid als directeur van het OCI is aangeboden en dat op initiatief van Dr. Gerard van der Want, mijn langdurige steun en toeverlaat in de algemene leiding van het OCI, tot stand kwam.

Mijn benoeming in 1960 tot buitengewoon hoogleraar met de ruime leeropdracht "de organische chemie" verschafte mij het voorrecht om van uit mijn TNO-functie binnen de Vakgroep Organische Chemie een nieuw en expansief wetenschapsgebied te kunnen introduceren - de organometaalchemie, naderhand verbreed tot de organometaal- en coördinatiechemie, het thema dat reeds eerder in dit college ter sprake kwam. Hoewel het nimmer tot een formele samenwerking tussen de Vakgroep Organische Chemie en het OCI-TNO is gekomen (hierop kom ik nog terug), bestonden er via mijn dubbelfunctie veel goede informele werkcontacten. Aanvankelijk hadden deze betrekking op afrondende studies op het gebied van de regulering van de plantengroei - een thema dat nog stamde uit de tijd van wijlen mijn leermeester Kögl. Uit deze studies kwam een viertal dissertaties voort, van L.C. Post, van J. Elema - die ons helaas veel te vroeg ontvallen is - van G.W. van Eijk en van J.A. Weber. Eind 1963 startte de eerste universitaire medewerker - mij door SON/ZWO toegewezen - met een organometaalchemisch promotieonderwerp. Dit was J. Boersma, die thans de leiding van de desbetreffende Universitaire Werkgroep heeft overgenomen. Hij werd zeer spoedig gevolgd door F.J.A. des Tombe en vervolgens in de loop der jaren door C.D.M. Beverwijk, P.W.J. de Graaf, H.K. Hofstee, S.M. van der Kerk, A.J. de Koning, P.H.M. Budzelaar, J. Dekker, die thans halverwege de promotie-rit is, en door J. Bakkes en K. Mollema, die beiden een twee-jarige onderzoekstage bij ons doorbrachten. Vele hoofd- en bijvakstudenten hebben, gewoonlijk met groot enthousiasme, aan deelaspecten van het organometaal-onderzoek medegewerkt; ik kan hen allen hier niet met name noemen, maar vermeld met waardering de belangrijke bijdragen die een aantal hunner al lerende aan onze onderzoekprojecten hebben geleverd en aan hun zowel qua inhoud als vormgeving vaak voortreffelijke onderzoeksverslagen.

In de loop van de tijd hebben wij binnen de Universitaire

Werkgroep een verscheidenheid van metalen in ons onderzoek betrokken: tin, zink, koper, zilver, goud, borium en laatste-lijk ook een aantal overgangsmetalen. Het organoborium-onderzoek stond en staat als categorie enigszins apart, maar voor het overige is het opmerkelijk, dat zink van het begin af in ons werk zowel een centrale plaats heeft ingenomen, als de functie van trait d'union heeft vervuld. Lang voor ik kon weten hoe belangwekkend de chemie en de biochemie van zink wel is, werd ik al hevig door dit metaal geïntrigeerd; om precies te zijn: dit is 56 jaar geleden en ik ben nu 70 (er komen nog maar weinigen na mij, die dit op deze plaats en bij een overeenkomstige gelegenheid zullen kunnen zeggen!). Graag zou ik dit als een opmerkelijk voorbeeld van vroeg-wetenschappelijke begaafdheid en intuïtie aan u presenteren, maar helaas de waarheid ligt wel even anders. Als jeugdig scholier was ik bijzonder vaardig in het verwerven van strafmiddagen en bij één van die gelegenheden moest ik mijn strafaak uitvoeren tijdens de scheikundeles van een hogere klasse. De scheikundedocent was de in Utrecht legendarische Dr. D.M. Kooy en hij behandelde zink. Een flinke schep zinkpoeder werd gestrooid in de vlam van een Bunsen-brander en daar geschiedde het wonder: een felle wit-groene lichtflits, gevolgd door een opstijgende witte rook van zinkoxyde, die spoedig het leslokaal vulde (u moet er hierbij natuurlijk wel rekening mee houden dat chemicaliën toen nog niet zó gevaarlijk waren en dat het milieu nog niet was uitgevonden). Even daarna werden het oplossen van zink in zwavelzuur en de reductie van koperionen door metallisch zink getoond en beschreven op de wijze, die alleen een begenadigd didact verstaat. Kort en goed: drie strafmiddagen extra wegens plichtsverzuim, maar zink is mij bijgebleven of beter gezegd, is sedertdien bij mij gebleven. Zo gaan die dingen!

Toen ik dan ook in 1962 van de International Lead Zinc Research Organization te New York het verzoek kreeg op het OCI-TNO een exploratief onderzoek aan te vatten op het gebied van de organozinkchemie kwam dit in feite als de vervulling van een latente wens. Dit werk werd gestart door Dr. J.G. Noltes en zijn medewerkers en was primair gericht op het ontwikkelen van toepassingen. De bestaande fundamentele kennis betreffende de organozink-coördinatiechemie was echter dermate beperkt, dat ik

besloot deze tot onderwerp van een universitair promotie-onderzoek te maken. Hiervoor werd, toen nog Drs., J. Boersma aangetrokken die, onder de bekwame dagelijkse leiding van Dr. Noltes, dit onderzoek in pionierende geest heeft uitgevoerd. De chemie was zó boeiend en de mogelijkheden waren zó veelzijdig, dat dit het centrale onderzoeksthema werd van onze Universitaire Werkgroep, wat het tot op de huidige dag is gebleven.

Geheel nieuwe werkgebieden werden door Boersma en na hem komende promovendi geopend: de eigenlijke organozink-coördinatiechemie, die inzicht verschafte in de veelzijdige coördinatiemogelijkheden van zink in afhankelijkheid van het substitutiepatroon - o.a. als consequentie hiervan kon kortgeleden de moleculaire structuur worden vastgesteld van het reeds 100 jaar bekende en in de organische synthese veel toegepaste Reformatsky-reagens; de toepassing van arylzinkverbindingen voor de synthese van arylkoper, -zilver- en -goudverbindingen, die als cyclische tri- en tetranucleaire species structureel erg interessant waren en waarin voor het eerst de vrije draaibaarheid van aan twee metaalcentra $2e-3c$ gebonden arylgroepen aannemelijk werd gemaakt; de bereiding, de structuren en de synthetische toepassingen van functioneel-gesubstitueerde alkylzinkverbindingen; het openen van het onontgonnen gebied der zinkhydride-chemie en de bestudering van de mogelijke functie van zink als actief centrum in waterstofoverdragende enzymssystemen, de dehydrogenasen; tenslotte de nieuwste en zeer boeiende ontwikkeling, de bereiding, de structuren en de synthetische en katalytische toepassingen van organozink-overgangsmetaalverbindingen, een gebied waar wij nog midden in zitten en dat als een goudmijn aan nieuwe mogelijkheden mag worden beschouwd.

Inmiddels mag deze occupatie en preoccupatie met zink niet worden geïnterpreteerd als een milde vorm van monomanie. Uit het voorafgaande blijkt al, dat ons werk zich veeleer in een middelpuntvliedende dan in een middelpuntzoekende zin heeft ontwikkeld, maar bovendien hebben wij naast deze hoofdlijnen een aantal andere richtingen geëxploreerd, vaak oriënterend - hoofd- en bijvakstudenten kunnen daarover meepraten - maar ook diepgaand. Een goed voorbeeld van dit laatste is de organo-

boriumchemie. Op dit internationaal intensief bewerkte gebied kon een nieuwe richting worden ingeslagen die tot een succesvol promotie-onderzoek heeft geleid.

Hoe moet ik onze Werkgroep Organometaal- en Coördinatiechemie karakteriseren? In de eerste plaats was zij steeds klein. De vaste wetenschappelijk staf telde slechts één volledige: Boersma, en één part-time medewerker: Des Tombe, en één analyste: Henriëtte Alberts. Gemiddeld hadden wij twee, maximaal drie, tijdelijke promotie-medewerkers en een wisselend aantal hoofd- en bijvakstudenten, gemiddeld zo'n vijf per jaar en jaarlijks één à twee stagiairs uit het HBO.

Onze werkbenadering had en heeft drie karakteristieke kenmerken. 1) Wij dreven niet mee binnen de "veilige" stroom van mode-onderwerpen, maar kozen steeds eigen, innoverende en dus riskante thema's; 2) De werkgroep beschikt over een uitzonderlijk hoog niveau aan synthetische, fysisch-chemische en spectroscopische ervaring en technieken, die in sterke mate zijn belichaamd in de persoon van Boersma; 3) In toenemende mate is gestreefd naar een integratie van experimentele en theoretisch-chemische aspecten; deze inbreng werd met name door Van der Kerk jr. en Budzelaar gerepresenteerd.

Wat ik nu allemaal heb gezegd is uiteraard inhoudelijk niet zo diepgaand, maar het dient dan ook slechts om u duidelijk te maken hoe boeiend het was om zo'n beetje als God de Vader boven de woelige baren te zweven. Hier een klopje, daar een duwtje, zo nu en dan een vermanend vingertje (men is tenslotte Nederlander!), maar vooral het voorrecht om zonder terughoudendheid - en dit bedoel ik letterlijk - jonge gemotiveerde mensen te begeleiden naar het voor ieder individueel best bereikbare niveau en dat, binnen een Werkgroep met gezamenlijke gedragen ideeën doelstellingen. Vooral de periode na mijn aftreden als dekaan, nu vijf jaar geleden, heb ik - mede door het delen van het Werkgroepeliderschap met Jaap Boersma - mogen ervaren als een creatieve ontspanning na een toch al langdurige, gevarieerde en intensieve wetenschappelijke loopbaan.

Zij die de 6^e Symfonie van Beethoven, bijgenaamd "de Pastorale", in zijn opbouw kennen zullen mij begrijpen als ik zeg, dat deze mij bij een terugblik op mijn loopbaan voor de geest staat. De Subfaculteit Scheikunde zal, naar ik aanneem, terug-

denkend aan zijn dekaan geen moeite hebben met het lokaliseren van het beroemde donder-en-bliksem motief, dat in het 3^e deel het "vrolijk samenzijn van de landlieden" voor enige ogenblikken onderbreekt!

Thans, bij mijn aftreden, smaak ik het genoeg dat het gebied van de Organometaal- en Coördinatiechemie, in overeenstemming met het advies van de Landelijke Taakverdelingscommissie voor de Chemie, het piëce de resistance gaat worden van het toekomstige werkprogramma van de Hoofdstroom Organische Synthese, in de vorm van het hoofdthema "Organische Synthese met behulp van Organometaalverbindingen". Hierbij moet mij nog iets van het hart. Een poging mijnerzijds in het midden der zestiger jaren tot een geformaliseerde integratie van het OCI-TNO met de Vakgroep Organische Chemie tot een Organisch Chemisch Instituut TNO/RU, stuitte af op tegenzin van de toenmalige Subfaculteit, lees echter van de toenmalige hoogleraren. De Universiteit was aan maatschappelijk relevant onderwijs en onderzoek nog niet toe. De twee hedenmiddag geschetste hoofdonderzoeksthema's van het OCI/TNO hebben geleid tot brede en langdurige samenwerkingen met vele wetenschappelijke instellingen en industriële ondernemingen in binnen- en buitenland. Met spijt en niet zonder enige wrevel merk ik op, dat alléén al deze maatschappelijk georiënteerde samenwerkingsverbanden de door mij aangeduide, maar tevergeefs nagestreefde, integratie OCI/VOC zou hebben gerechtvaardigd. Ik herinner u slechts aan de thans zo modieuze begrippen "contract"- en "contact"-research. Hoe dit ook zij, de universitaire aandacht voor maatschappelijk relevant onderwijs en onderzoek kwam er wèl, maar pas na de invoering van de WUB, en wel onder druk van de studenten. De huidige Subfacultaire Werkgroep Chemie en Samenleving, ingesteld in 1975, is thans bezig in haar onderwijs en onderzoek een voortreffelijk objectiverend-critisch beeld te geven van het functioneren van de chemie in de moderne samenleving. Het heeft mij verheugd om sinds mijn aftreden als dekaan intensief bij de activiteiten van C&S betrokken te zijn geweest.

Na deze terugblik op de chemische bindingen waarmee ik mij wetenschappelijk heb beziggehouden en op de intermenselijke bindingen waarbinnen deze activiteiten zich afspeelden, wil ik dit afscheidscollege besluiten met een paar persoonlijke gedachten aangaande enkele structurele kaders waarbinnen ik de chemie plaats, resp. de chemie heb gediend.

In wetenschappelijk opzicht is de chemie voor zeer velen vrijwel een gesloten boek; dit is verwonderlijk. Als individuen zijn wij allen chemie en zowel in natuurlijke als maatschappelijke zin is de chemie letterlijk overal.

Ik neem u nog even mee terug naar enkele maatschappelijk markante aspecten van mijn vakgebied, de organische chemie, een halve eeuw geleden. Realiseert u zich, dat in 1930 nog van geen enkel vitamine of hormoon de chemische structuur, laat staan het werkingsmechanisme bekend was? Wist u dat pas in 1935 het eerste werkzame middel tegen bacteriële infectieziekten, de kleurstof prontosil, werd ontdekt, waaruit later de zo succesvolle geneesmiddelengroep der sulfanilamiden is voortgekomen? Dat het antibioticum penicilline weliswaar in 1929 is ontdekt, maar zijn zegenrijke tocht pas na 1940 is begonnen, en dat het werkelijk expansieve tijdperk der antibiotica pas na 1950 intrad? Beseft u, dat de steeds levensbedreigende longontsteking van weleer door de chemie bijna is gereduceerd tot het thans spreekwoordelijke "pneumonietje"? Denkt u ook aan de moderne middelen en systemen voor gewasbescherming, aan de mogelijkheden tot effectieve bestrijding van teisterende infectieziekten vooral in de 3^e wereldlanden, en aan het feit dat het gehele gebied der moderne kunststoffen pas na 1930 tot wetenschappelijke en technische ontwikkeling is gekomen. Allemaal vanzelfsprekendheden van nu, die in de moderne chemie hun basis hebben. De chemie heeft gezorgd voor de middelen en materialen die het leef-, woon- en verplaatsingscomfort kwalitatief en kwantitatief enorm hebben verhoogd. Op basis van de chemie zijn zowel de individuele levensverwachting als de materiële levenskwaliteit op tot voor kort onvoorstelbare wijze gestegen en dit, althans in de Westerse wereld, voor vrijwel ieder lid van die samenleving. Deze zelfde chemie is daarbij aan een aantal niet direct zichtbare consequenties voorbijgegaan, omdat nevenverschijn-

selen a fortiori een andere tijdschaal hebben dan gewenste effecten. Het wellicht bekendste voorbeeld hiervan is DDT, dat tientallen millioenen mensenlevens redde, maar in discredit geraakte als gevolg van de tevoren onbekende resistentieontwikkeling bij insecten. Soortgelijke factoren hebben geleid tot de huidige verbijsterende omvang van de chemische milieuverontreiniging, maar hierbij spelen, naast luchthartigheid in het verleden, in het heden minder fraaie motieven een dominante rol. Het is echter absurd en bovenal misleidend, om de chemie in hoofdzaak te associëren met de vergiftiging van al wat leeft; men moet inzien dat chemie en technologie de nog steeds creatieve bronnen zijn van de meest indrukwekkende materiele vooruitgang in de geschiedenis der mensheid. De negatieve aspecten kunnen worden gekeerd door verbreding en verdieping van onze kennis en zijn op die basis wellicht grotendeels te voorkòmen, mits de maatschappelijke en politieke wil daartoe aanwezig is. In deze samenhang neem ik de vrijheid mij enkele ogenblikken uitdrukkelijk niet als hoogleeraar maar als staatsburger te uiten.

De gang van zaken in onze technisch hoogontwikkelde maatschappij wordt niet in hoofdzaak verziekt door wetenschap en techniek, inzonderheid de chemie, noch door een onverstandig gebruik van hun resultaten, maar - zoals dat altijd al is geweest - door hebzucht en bedrog. Ik heb als volwassene de dertiger jaren meegemaakt en ben die niet vergeten. De erbarlijke wijze waarop thans in Nederland een openlijke kruistocht gaande is tégen de sindsdien behoedzaam nagestreefde verdelende rechtvaardigheid en vóór het herstel van de toenmalige sociale ongelijkheid grenst voor mij aan politieke minderwaardigheid. De tolerantie die in Nederland wordt betracht jegens bepaalde vormen van criminaliteit - ik noem slechts het internationale drug-circuit - en jegens het voor ieder zinnig mens voorspelbare misbruik van dat juridische monstrum de "Besloten Vennootschap", declasseren ons rechtstelsysteem en frusteren zowel het rechtsgevoel als de rechtzekerheid van de gemiddelde burger. Het steeds maar weer éézijdig en luidruchtig aanwijzen van de chemie als veroorzaker van maatschappelijke vervuiling hangt mij persoonlijk uitermate de keel uit. Zo steiger ik als chemicus bij het

horen van het bedriegelijke woord "betonrot", wat grotendeels dient om malafide praktijken van bouwondernemingen te maskeren. Maar misschien is het slechts een zetfout en heeft men steeds "rotbeton" bedoeld, want goed beton konden wij ook 50 jaar geleden al maken. Komt u maar eens kijken in ons Organisch Chemisch Laboratorium! Maar toen waren er nog géén onpakkbare BV's. Uit het feit dat natuurwetenschappelijke fraude een uiterst zeldzaam verschijnsel is, mag u overigens niet concluderen dat wetenschapsbeoefenaren een hogere vorm van ethiek bezitten. De natuurwetenschap kent echter één poort waar een ieder zijns ondanks doorheen moet en waarboven met gouden letters is geschreven "Verifieerbaarheid". Voor het overige gelden onverkort alle wetten van de maatschappelijke jungle. De verantwoordelijkheid voor de maatschappelijke gevolgen van wetenschap en techniek, gebruik zowel als misbruik, ligt bij de samenleving als geheel en nergens anders. Nu trek ik, zij het in figuurlijke zin, de toga toch maar weer aan.

Ik heb in de loop der jaren binnen de landelijke en plaatselijke chemie een aantal bestuurlijke functies vervuld. Onder de landelijke noem ik de Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging, de KNCV en vooral de Stichting Scheikundig Onderzoek in Nederland, de SON, waarvan ik tien jaar bestuurslid en vijf en een half jaar voorzitter was. Gezien de vèrstrekkende invloed van SON op het chemisch-wetenschappelijk onderzoek in Nederland en mijn langdurige persoonlijke betrokkenheid bij SON, wil ik hier kort iets over zeggen. De sinds 1956 bestaande Stichting SON heeft als doelstelling: "de bevordering van het fundamentele onderzoek aan universiteiten en hogescholen, alsmede in andere instituten, op het gebied der scheikunde in de ruimste zin des woords". In de praktijk wordt financiële steun verleend aan scheikundig onderzoek van hoge kwaliteit, in de vorm van promotiemedewerkers en apparatuur aan individuele werkgroepgeleiders, beter bekend als de "tweede geldstroom". Ondanks de relatief bescheiden omvang daarvan heeft SON een onevenredig hoge positieve invloed gehad en heeft het, vooral ten aanzien van themakeuze en niveau, duidelijk sturend en stimulerend gewerkt. Mede omdat het eigen onderzoeksbeleid van universiteiten en hogescholen vaak nauwelijks herkenbaar is - de WUB heeft daar ook al geen goed aan gedaan - en landelijke

coördinatie van andere aard vrijwel achterwege is gebleven, kan de invloed van SON op de kwaliteit van het chemisch-wetenschappelijk onderzoek in Nederland moeilijk worden overschat.

Op dit moment zie ik echter voor SON twee gevaren, die beide voortvloeien uit wijdere directieven van het hogere beleidsorgaan ZWO. Het eerste is het landelijke "zwaartepuntenbeleid" voor de chemie, dat thans vanuit het Departement van Onderwijs en Wetenschappen een dwingende extra dimensie heeft gekregen in de vorm van de "Voorwaardelijke Financiering". Zelfs in de ervaren handen van SON bergt een zwaartepuntenbeleid het gevaar in zich, reeds na betrekkelijk korte tijd veeleer conso- liderend dan stimulerend te gaan werken. En aan vergroting van de directe invloed van het Departement moet ik helemaal niet denken. Op grond waarvan bezitten ambtelijke instanties, op welk niveau dan ook, de competentie voor het beoordelen van onderzoek, laat staan voor het herkennen en selecteren van nieuw opkomend talent en van kleine maar dynamische groepen? Door in de vorm van een overhaast en onevenwichtig advies mede te werken aan de 2^e ronde van de Voorwaardelijke Financiering heeft SON haar moeizaam opgebouwde vertrouwensrelatie met de instellingen voor wetenschappelijk onderwijs ernstig aange- tast. Het tweede gevaar is een klip waar SON zelfs wel eens op zou kunnen vastlopen. Sedert medio 1980 is SON - daartoe geprest door ZWO - er toe overgegaan steun te verlenen aan toegepast-chemisch onderzoek. Het "utiliteits-criterium" is de extra vlag die in de toekomst de lading moet gaan dekken. Ook hier zit achter deze greep naar de macht van ZWO en zijn Stichtingen over het gehele onderzoekbeleid in Nederland weer het Departement van Onderwijs en Wetenschappen, en dit nog wel - horribile dictu - op advies van de landelijke Verkenning- commissie Chemisch Onderzoek. Ik moet hierover kort zijn. Afge- zien van het feit, dat volgens de Wet al sinds 1932 de Neder- landse Centrale Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschap- pelijk Onderzoek TNO dit terrein bestrijkt, en de Wet van 1950 op het Zuiver-Wetenschappelijk Onderzoek dit voor ZWO uitdrukkelijk uitsloot, zijn noch ZWO, noch het Departement van Onderwijs en Wetenschappen, noch de instellingen voor Wetenschappelijk Onderwijs qua ervaring en structuur gekwali- ficeerd om de toegepaste bèta-wetenschappen doeltreffend te

bevorderen, laat staan te intermediairen tussen universitaire en industriële research. Door middel van de geldkraan ligt nu, via maatschappelijke relevantie, utiliteit en wat dies meer zij, de weg wijd open naar beunhazerij en de keuze van "modische" onderzoeksthema's. Dit zal er bovendien toe leiden, dat het voor het fundamentele onderzoek zo voortreffelijk functionerende tweede-geldstroom mechanisme inhoudelijk en structureel wordt aangetast. Het gevolg zal zijn, dat een flexibel en efficiënt systeem van positieve selectie, van welwillende maar kritische afweging en van geleidelijke niveau-verhoging plaats gaat maken voor een werkwijze, die slechts kan leiden tot egaliserende mediocriteit en een sluipend afglijden naar een steeds lager niveau.

Wat dit betreft leveren inmiddels de instellingen voor wetenschappelijk onderwijs sinds 1972 hun volle medewerking, door een kwalitatief en kwantitatief verkeerd gebruik van medezeggenschap. Ik spreek natuurlijk over de invoering in dat jaar van de "Wet Universitaire Bestuurshervorming", de WUB. Zie zo, het hoge woord is er eindelijk uit. Hierop hebben velen van u zitten wachten! Maar neen: Vader is niet bôôs; Vader is bedroefd! Wat zijn de wortels van de WUB? Ik heb daar een misschien wat individuele kijk op. De WUB is volgens mij voortgevloeid uit een monsterverbond tussen een gekwelde en pragmatisch denkende Overheid, en deels idealistische, deels gefrustreerde universiteitslagen die beiden op hun wijze inhaakten op de maatschappelijke democratiseringsgolf van de zestiger jaren. Wetenschapsbeleid, het nationale kader waarbinnen de universiteiten en hogescholen hun onderzoeksbeleid kunnen vaststellen, is in Nederland pas na de Tweede Wereldoorlog aarzelend op gang gekomen. Ook hier zag toen de Overheid in, dat de resultaten van natuurwetenschappelijk onderzoek - op miraculeuze, zij het onvoorspelbare wijze; vandaar de aarzeling - geld konden opbrengen. Tot voor kort hield de invloed van de Overheid op bij de poorten van de universiteit; men ging er van uit dat met name de hoogleraren wel wisten wat zij moesten doen. Dat vonden zijzelf trouwens ook. Een poging omstreeks 1970 van de toenmalige minister De Brauw om inzicht te krijgen in de financiële omvang en de doelmatigheid van het wetenschappelijk onderzoek, ging tengevolge van een totaal gebrek aan universi-

taire medewerking volledig de mist in. De Overheid, kopschuw en verbolgen, heeft toen - was het politiek raffinement, of simpele kortzichtigheid? - aan de roep om democratisering en herstructurering gehoor gegeven op een moment, dat er alleen nog maar toenemende armoede en ellende was te verdelen. Sedertdien heeft zij de gedemocratiseerde universiteiten en hogescholen onderworpen aan een ononderbroken reeks van financiële beperkingen en knevelende maatregelen. Zie hier één kant van de zaak; nu de andere. Het universitaire bestel was uitgegroeid tot een autoritaire meritocratie, uiteraard behept met de hieraan klevende misstanden. Hiertegen verzetten zich, naar de geest van de tijd, diegenen die (nog) ver van de machtsposities waren verwijderd, respectievelijk deze nimmer zouden bereiken. In een smeltkroes van individueel idealisme, politieke overwegingen en ideologieën, frustraties van hoog tot laag en van een beginnende ernstige economische recessie kristalliseerde de WUB. Het functioneren van de WUB was dan ook vanaf het eerste moment gedoemd te mislukken. Het tragische is, dat een bewust gekozen onwerkbaar systeem nauwelijks een andere opzet zou hebben gevegd.

Sinds ik in 1975 werd gevraagd om voor drie jaar dekaan te worden van de Subfaculteit Scheikunde heb ik van twee opvattingen nooit een geheim gemaakt. De eerste is, dat onze Subfaculteit Scheikunde op zijn vriendelijkst gezegd als loszand aan elkaar hangt en op zijn onvriendelijkst gezegd een structurele puinhoop is. De tweede - wie uwer wacht er niet op? - is mijn hartgrondig ongenoegen met het functioneren van de WUB. Het "Jan Steen karakter" van de Subfaculteit Scheikunde dateert grotendeels al van vóór de WUB, maar de invoering van de WUB heeft geen positieve veranderingen teweeg gebracht. Integendeel! De vroegere macht van aanwijsbare en dus, althans in beginsel, aanspreekbare individuen is overgeheveld naar die van ongrijpbare structuren op basis-, midden- en topniveau, zonder dat duidelijk is waar de afbakeningen liggen en hoever de specifieke bevoegdheden reiken. De samenstelling van de bestuurlijke WUB-structuren is zó, dat vooral belangrijke beleidsbeslissingen hetzij op basis van druilerige compromissen tot stand komen, hetzij helemaal niet! Werkelijk gedurfde beslissingen blijven uit of worden,

uit schrik voor de eigen vermetelheid, naderhand ontkracht of zelfs geïgnoreerd. Nog steeds speelt mij het tijdens mijn dekaanschap genomen goede en ingrijpende Subfaculteitsraadbesluit 77-18 door het hoofd. Ware dit besluit, dat de herstructurering van de Subfaculteit Scheikunde behelsde op basis van het toekomstige Kroondocentenbeleid, uitgevoerd, dan zou de Subfaculteit Scheikunde thans beter opgewassen zijn tegen het recente departementale geweld en de baatzuchtige landelijke overval bij de tweede ronde van de Voorwaardelijke Financiering. Medezeggenschap is een goede zaak en overleg met alle betrokkenen is noodzakelijk. Deze WUB echter, heeft de werkverhoudingen aangetast, het gevoel van persoonlijke verantwoordelijkheid verschaald en het functioneren van de universitaire structuren - vooral op basis en midden-niveau - tot beneden een aanvaardbaar minimum aan doelmatigheid teruggebracht. Het beste ware om dit ruitertlijk toe te geven, onze wonden te likken en een betere basis te ontwerpen voor de universiteit van de toekomst.