

Leven in de levenloze chemie

Citation for published version (APA):

Prins, R. (1978). *Leven in de levenloze chemie*. Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1978

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

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

[Link to publication](#)

General rights

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

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

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

www.tue.nl/taverne

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

LEVEN IN DE LEVENLOZE CHEMIE

DR. R. PRINS

LEVEN IN DE LEVENLOZE CHEMIE

Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van gewoon
hoogleraar in de afdeling der scheikundige technologie aan de
Technische Hogeschool Eindhoven op 1 december 1978
door Dr. R. Prins.

*Mijne heren leden van het College van Bestuur en van de Hogeschool-
raad,
mijnheer de Rector Magnificus,
dames en heren hoogleraren, lectoren en wetenschappelijk medewerkers,
dames en heren leden van de technische en administratieve staf,
dames en heren studenten,
en voorts u allen, die door uw aanwezigheid blijk geeft van uw belangstelling,*

Zeer gewaardeerde toehoorders,

Een van de vragen die je je stelt, wanneer je bent benoemd tot hoogle-
raar met als opdracht onderwijs te geven in de anorganische chemie, is:
wat is anorganische chemie? Gelukkig voor de vragensteller hebben an-
deren deze vraag al eens gesteld en er ook een antwoord op gegeven. De
eerste die dat deed was Berzelius, die in 1807 stoffen afkomstig uit le-
vende systemen als planten en dieren organisch noemde en alle ande-
re stoffen, afkomstig uit levenloze materie, anorganisch. Hierbij
moet aangetekend worden dat men in die dagen nog geloofde dat deze
organische stoffen alleen konden ontstaan met behulp van vis vitalis,
een 'levenskracht' die specifiek geacht werd voor de levende cel. In 1828
echter werd door Wöhler ook aan de organische chemie het 'levendige'
aspect ontnomen, toen hij aantoonde dat de organische stof ureum, tot
dan toe verkregen uit urine, bereid kon worden door verhitting van am-
moniumcyanaat, een stof van onverdacht anorganisch karakter. Hoe-
wel Wöhler nog jaren werd bestreden door tijdgenoten, leidde deze ont-
dekking toch tot het einde van de theorie van de levenskracht.

Dat de anorganische chemie, door Berzelius aldus beplakt met het etiket
levenloos, wel degelijk vol leven zit, wil ik u in dit uur laten zien. Daar-
toe zal ik u schetsen wat voor grote oplevingen de anorganische chemie
in de twintigste eeuw heeft gehad. Dit stelt mij tevens in de gelegenheid
een verder antwoord te geven op de vraag 'wat is anorganische
chemie?'. Ik wil dit doen door u te tonen waar de huidige interesses van
anderen en van mijzelf liggen. Voorbeelden uit de bio-anorganische che-
mie zullen u zelfs in letterlijke zin aantonen dat het thema van deze le-
zing niet ten onrechte gekozen is als 'leven in de levenloze chemie'.

De anorganische chemie maakte in het begin van de negentiende eeuw
een levendige tijd door. Met name door werk van Zweedse en Finse che-
mici en mineralogen die vele Zweedse ertsen analyseerden, was rond

1830 het aantal bekende chemische elementen gestegen tot drieënvijftig. En op basis van deze kennis en met behulp van een grote dosis rubriceerijver lukte het in 1869 Mendelejev en Meyer om al deze elementen bijeen te brengen in één alomvattend systeem, dat wij nu het periodiek systeem der elementen noemen. Terugblikkend op die tijd kan men stellen, dat anorganische chemie toen nauw verweven was met mineralogie en met dat deel van de chemie dat men nog niet zo lang geleden analytische scheikunde noemde. De naweeën hiervan waren tot voor kort nog terug te vinden in de opleiding van de studenten in de chemie. De niet meer allerjongsten onder u die nog het eerstejaarspraktikum analytische scheikunde doorlopen hebben, zullen elke keer als zij zwavelwaterstof ruiken, nog levendig herinnerd worden aan het zogeheten H_2S -systeem. Het leidt geen twijfel dat deze negentiende-eeuwse chemie van de levenloze materie ook vandaag tot de anorganische chemie gerekend wordt. Nochtans is de kennis ervan zo groot geworden en de belangstelling ervoor zo afgenomen, dat het onderwijs in dit klassieke deel van de anorganische chemie nu volledig verschoven is naar het middelbaar onderwijs.

De enorme opleving in de natuurwetenschappen in het begin van deze eeuw is genoegzaam bekend. Terwijl men rond de eeuwwisseling reeds meende dat de grenzen van de kennis van de fysica en chemie bereikt waren, besefte men in de jaren twintig dat de fundamenteën van deze takken der wetenschap geheel vernieuwd moesten worden. Toch is het in eerste instantie niet door de quantummechanica dat de anorganische chemie tot nieuw leven komt; die invloed zal zich eerst in de jaren vijftig doen gevoelen. Het nieuwe leven komt door de ontdekking in 1912 dat röntgenstralen op een speciale manier verstrooid worden aan een kristal, indien de golflengte van de straling in de orde is van de afstand tussen de atomen in het kristal. Deze ontdekking opent de mogelijkheid om de structuur van de vaste fase op te helderen en een stroom van publikaties is hier het gevolg van. De röntgenkristallografie leidt in nauwe samenwerking met de dan sterk in de belangstelling staande theorie van de ionogene binding in kristalroosters tot onze huidige grote kennis van chemie en fysica van de vaste stof.

In deze stad zou men met een variatie op een Nederlands spreekwoord kunnen zeggen dat het zand naar de Kempen dragen is om hierover al te zeer uit te weiden. Laat ik dan slechts de namen van Van Arkel en De Boer noemen vanwege hun baanbrekende werk verricht in het Natuurkundig Laboratorium van de Philips' Gloeilampenfabrieken. Het vastestofonderzoek heeft door de jaren heen geleid tot een grote kennis van anorganische materialen en tot vele belangrijke toepassingen in de elektrotechniek en elektronika. Over dit aspect en over de rol die fouten

hierbij spelen heeft dr. Metselaar ons bij een vorige gelegenheid in deze zaal reeds bericht.

In de jaren vijftig begint dan eindelijk de quantummechanica een grote invloed te krijgen op de chemie. Weliswaar was voor 1950 al belangrijk werk gedaan aan de basis van de toepassing in de chemie, maar toch was men niet verder gekomen dan de kleine molekulen. De komplikaties die optreden wanneer men theoretische berekeningen wenst uit te voeren aan molekulen met meerdere atomen, zijn de oorzaak van de trage toepassing van de quantummechanica in de chemie. En nog steeds is het zo dat exacte berekeningen slechts uitgevoerd kunnen worden aan niet al te grote molekulen en dan nog slechts bij gebruik van grote computers en veel rekentijd. Vandaar dat vereenvoudigde rekenmethodes zich in een grote belangstelling hebben verheugd. De grote vlucht van dit soort methodes vindt in de jaren vijftig plaats. In de organische chemie door de opkomst van de molecular-orbital methode met varianten als de Hückel, Pariser-Parr, CNDO-methodes en in de anorganische chemie door de kristalveld- en ligandveld-methodes. Een grote rol speelt hierbij ongetwijfeld het beschikbaar komen van spectroscopische instrumenten. Het zijn met name de spectroscopische meetresultaten die de balans doen omslaan van een voorkeur voor valence-bond theorie naar molecular-orbital theorie. In het algemeen kan men stellen dat de meeste spectroscopische waarnemingen een vlotte verklaring vinden met behulp van molecular-orbital theorie. Deze wisselwerking tussen theorie enerzijds en experiment anderzijds heeft een zelfversterkend effect en leidt in de laatste twintig jaar tot een hecht doortimmerd bouwwerk van theoretische chemie en spectroscopie.

Voor de anorganische chemie betekent dit een opbloei van de coördinatiechemie in combinatie met theorie en spectroscopie. De studie van chemische complexen opgebouwd uit een centraal overgangsmetaalion met daar omheen diverse al of niet geladen atomen of molekulen, die zowel anorganisch als organisch kunnen zijn, neemt een grote vlucht. Natuurlijk was er al eerder belangstelling voor dit soort verbindingen geweest. Reeds rond de eeuwwisseling verricht Werner baanbrekend werk met zijn studie van de stereoisomerie van coördinatiecomplexen. Hiervoor kreeg hij in 1913 de Nobelprijs. Het bestaan van deze en andere complexen kon afdoende verklaard worden met behulp van de valence-bond theorie door onder andere Pauling. Voorspellingen over conformatie en isomerie waren echter moeilijk te geven en de kleur en magnetische eigenschappen konden helemaal niet of nauwelijks verklaard worden. Kristalveldtheorie en ligandveldtheorie kunnen deze eigenschappen daarentegen wel verklaren. De aanzet tot de kristalveldtheorie werd door Bethe en Van Vleck reeds rond 1930 gedaan. Het zou echter

tot het begin van de jaren zestig duren voordat deze aanzet omgezet kon worden tot een serieuze poging om de zogenaamde kristalveldsplitsing, een van de belangrijkste parameters bij de theoretische beschrijving van coördinatiecomplexen, kwantitatief te berekenen. Hier aan deze technische hogeschool houdt in die tijd ir. P. Ros zich als eerste promovendus van prof. dr. G.C.A. Schuit met dit probleem bezig. Genoeg over de coördinatiechemie, ook nu nog een levendige tak van de levenloze chemie.

Laten we nu onze aandacht richten op een van de interessantste en belangrijkste gebieden van de moderne anorganische chemie: de organometaalchemie. Dit interdisciplinaire gebied tussen de anorganische en organische chemie houdt zich bezig met verbindingen die een of meer metaalatonen of ionen bevatten die verbonden zijn met een of meerdere koolstofatomen. Op deze wijze gedefinieerd worden verbindingen van metaalatonen met organische molekulen, waarbij het metaalatoom niet aan een koolstofatoom maar aan een hetero-atoom van het organische molecuul is gebonden, niet tot de organometaalchemie maar tot de coördinatiechemie gerekend.

Organometaalchemie begint met de ontdekking van Zeise in 1827 dat een verbinding gemaakt kan worden van platina en etheen. Pas 125 jaar later zou duidelijk worden op wat voor een speciale wijze dit etheen aan het platina-atoom gebonden is.

In 1848 gelukt het Frankland zinkalkylen te bereiden en in 1900 is Grignard in staat om alkylmagnesiumbromide te maken. Voor deze ontdekking en voor de toepassingen in de organische chemie kreeg Grignard in 1912 de Nobelprijs. Organometaalchemie bestrijkt een zeer breed terrein, tenslotte behoren per definitie alle verbindingen ertoe waarin een metaalatoom aan een koolstofatoom gebonden is. En een blik op het periodiek systeem leert dat er nogal wat metalen zijn. Deze uitgebreidheid maakt dat vandaag de dag nog slechts enkele delen van het terrein systematisch onderzocht zijn. Toch is het aantal nuttige toepassingen reeds groot. Alkylaluminium-verbindingen zijn belangrijke componenten van de Ziegler-Natta katalysator die gebruikt wordt voor het maken van polyetheen met een hoge dichtheid en van polypropeen. Tinverbindingen worden toegepast als schimmelwerende middelen, anti-oxidants en bieden plastics en rubber een beschermende werking tegen ultraviolette straling. Kwikverbindingen (mercurochroom) worden gebruikt in de geneeskunde en lithiumalkylen vinden toepassing als katalysatoren bij de bereiding van kunstrubber. Siliciumverbindingen worden toegepast in de vorm van siliconenrubber en als smeermiddel. Verbindingen van overgangsmetalen worden in vele processen gebruikt als katalysatoren. En wie kent niet tetraethyllood? Zijn we niet allemaal gaarne bereid iets

meer voor benzine te betalen, als er maar geen tetraethyllood in zit? Een enorme opleving van de belangstelling voor de organometaalchemie vindt plaats in 1951. In dat jaar gelukt het Kealy en Pauson bij toeval een verbinding tussen ijzer en cyclopentadiëen te maken. In eerste instantie denken zij een stabiele verbinding gemaakt te hebben tussen een alkylgroep en een overgangsmetaalatom, iets waar al zeer lang naar gezocht werd. Het blijkt echter al zeer vlug, vooral door het werk van Wilkinson en Fischer, dat in deze stabiele ijzerverbinding sprake is van een geheel nieuw type binding: het molecuul bestaat uit twee vlakke organische vijftringen met daartussen een ijzeratoom. Het geheel doet denken aan een sandwich met de organische molekulen als kale boterhammen en het anorganische ijzer als smakelijk beleg. Vandaar de naam sandwichverbinding. Wilkinson en Fischer kregen voor hun baanbrekende werk op dit en ook ander organometaalgebied in 1973 de Nobelprijs. De gevolgen van de ontdekking van deze organo-ijzerverbinding waren overweldigend; een geheel nieuw terrein lag open.

Het bleek alras dat behalve ijzer vele andere metaalatomen als beleg konden dienen en ook andere broodsoorten, in de vorm van 4-, 6-, 7-, of 8-ringen konden gebruikt worden. Ook half sandwichverbindingen konden gemaakt worden; zij bestaan uit een boterham, beleg en wat versiering in de vorm van kleine molekulen als koolmonoxide, stikstofoxide, trifenylfosfine, en andere smakelijke hapjes. Verder bleek de oorspronkelijke verbinding aromatische eigenschappen te hebben analoog aan benzeen en wordt hij daarom ook wel ferrocen genoemd. Grote groepen onderzoekers houden zich alleen al bezig met de vele mogelijkheden die de organische chemie biedt met dit soort molekulen.

De π -binding tussen een overgangsmetaal en koolstof zoals optreedt in ferrocen werd bij toeval ontdekt, want eigenlijk was men op zoek naar metaal-alkylverbindingen, waarbij de metaal-koolstofband door σ -elektronen verzorgd wordt. Men bleef echter ook hardnekkig pogen om overgangsmetaalalkylen te synthetiseren. In 1953 lukte het een titanium-alkylverbinding te maken en spoedig volgden andere verbindingen. Toch werd nog in 1968 door Parshall in een overzichtsartikel opgemerkt dat overgangsmetaalalkylen instabiel zijn en dat speciale andere liganden mede aan het overgangsmetaalatom gebonden moeten zijn om de band tussen overgangsmetaal en alkylgroep te stabiliseren. Ik wijs op deze uitspraak van slechts tien jaar geleden, omdat ze illustreert hoe sterk onze kennis van de organometaalchemie is toegenomen, maar ook hoe weinig we eigenlijk nog weten en begrijpen en hoeveel we dus nog moeten leren en zullen ontdekken. Want vandaag, tien jaar later, weten we dat de stabiliteit van overgangsmetaalalkylen heel eenvoudig een kinetische zaak is en geen thermodynamische. Want in principe is de overgangsmetaal-koolstofband niet zwak. Complexen van over-

gangsmetalen met alkoxiden en alkylamiden waren al wat langer bekend en extrapolatie doet dus vermoeden dat de metaal-koolstofband niet al te zwak zal zijn. Dat het toch moeilijk is om overgangsmetaalalkylen te maken, moet dus komen omdat ofwel de aktiveringsenergie voor de vorming groot is, wat in verband met het bestaan van alkylen van niet-overgangsmetalen onwaarschijnlijk is, ofwel omdat de gevormde verbindingen snel doorreageren via reacties die specifiek zijn voor overgangsmetalen. Het is deze laatste mogelijkheid die de synthese van overgangsmetaalalkylen bemoeilijkt. De reden is gelegen in de zogeheten β -waterstof eliminatie.

Dat wil zeggen dat zodra een overgangsmetaalalkyl gevormd wordt, een waterstofatoom verhuist van een naaste nabuur koolstofatoom naar het metaalatoom. Tegelijkertijd wordt de metaal-koolstofband verbroken. Uit de metaal-alkylverbinding ontstaat een metaalwaterstofverbinding en een vrij alkeen. De reeds genoemde Nobelprijswinnaar Wilkinson heeft laten zien dat de truc om stabiele overgangsmetaalalkylen te maken dus bestaat uit enerzijds het toepassen van alkylgroepen die geen β -waterstof bevatten zoals de methyl of neopentylgroepen, en anderzijds uit het toepassen van overgangsmetalen die reeds zoveel liganden bevatten dat de verhuizing van het waterstofatoom naar het overgangsmetaalatoom geblokkeerd is.

Ook de omgekeerde reactie, waarbij uit een overgangsmetaalhydride en een alkeen een overgangsmetaal-alkylverbinding wordt gevormd, kan optreden. Deze reactie is slechts een van de vele voorbeelden van de zogeheten inschuifreactie, waarbij in dit geval het alkeen als het ware tussen het metaalatoom en het waterstofatoom inschuift. Dit soort reacties speelt de laatste jaren een grote rol in de organometaalchemie en in een van haar toepassingsgebieden, de homogene katalyse. Hydroformylering, een proces waarbij aldehyden en alkoholen gemaakt worden uit alkenen, koolmonoxide en waterstof, de carbonylering van methanol tot azijnzuur, het Wacker proces ter bereiding van acetaldehyde en het Ziegler-Natta proces voor de polymerisatie van alkenen zouden niet mogelijk zijn zonder dit soort reacties.

Het zal u uit dit alles duidelijk zijn dat de levenloze chemie weer bruist van nieuw leven bij de studie van verbindingen van overgangsmetalen. Dat vrijwel alle aandacht zich inderdaad richt op dit gebied wil ik illustreren aan de hand van een klein statistiekje over het aantal overzichtsartikelen dat er in een bepaald gebied van de anorganische chemie verschenen is. Ik heb daartoe het tijdschrift *Accounts of Chemical Research* genomen. Dit tijdschrift poogt op een zo breed mogelijk terrein van de chemie overzichtsartikelen te publiceren van belangrijk nieuw werk. Verder heb ik de zaak opgesplitst in twee vijfjarige periodes om te zien of er zich veranderingen voordoen. Wat we in één oogopslag zien, is

dat het merendeel van de artikelen zich bezighoudt met chemie van de overgangsmetalen en dat het grootste deel daarvan weer gevormd wordt door organometaal- en coördinatiechemie. Opvallend is het zeer kleine aantal artikelen over vastestofchemie.

Overzichtsartikelen over anorganische chemie, gepubliceerd in *Accounts of Chemical Research*

gebied en subgebied	aantal artikelen in periode	
	1968 t/m 1972	1973 t/m 1977
overgangsmetalen	40	64
organometaalchemie	16	21
coördinatiechemie	12	12
bioanorganische chemie	3	9
spectroscopie, theorie	5	9
katalyse	4	13
andere metalen	3	3
niet-metalen	12	8
vaste stof chemie	1	1

We zien verder dat de interesse voor bioanorganische chemie en voor anorganische aspecten van katalyse stijgt. Als we tevens beseffen dat overzichtsartikelen in feite iets vertellen over de toestand van enkele jaren terug, dan dringt zich het vermoeden op dat juist deze twee gebieden momenteel een interessante periode doormaken. Inderdaad kan men stellen dat bioanorganische chemie het snelst ontwikkelende gebied van de anorganische chemie is, ja mogelijk zelfs van de gehele chemie. Juist in dit gebied waar de te bestuderen stoffen hun oorsprong vinden in dierlijke en plantaardige organen, is de naam anorganisch in feite niet korrekt. Laat ons daar echter niet te lang bij blijven stilstaan, laten wij veeleer eens zien hoe de biochemie de anorganische chemie verlevendigt. En tevens hoe een interdisciplinaire studie beide gebieden verrijkt met kennis.

Als voorbeeld wil ik u hemoglobine schetsen. Met deze stof zijn wij allen vertrouwd. U weet dat terwijl u hier zit uw longen zuurstof afgeven aan het hemoglobine in uw bloed en dat het hemoglobine de zuurstof transporteert naar de lichaamscel. Daar wordt de zuurstof overgedragen aan myoglobine in de cel en dan in de cel gebruikt voor de oxidatie van glucose, zodat u energie verkrijgt om u bijvoorbeeld op uw hoofd te krab-

ben bij het moeten aanhoren van dit alles. Welnu, hemoglobine wordt al lange tijd bestudeerd en we weten er ook al aardig wat van. Zo weten we dat hemoglobine in feite uit vier subeenheden bestaat, elk bestaande uit een groot ingewikkeld eiwitmolecuul met daar binnenin een anorganische ijzerverbinding, de heemgroep. Deze subeenheden vormen een coöperatief systeem. Zodra één heemgroep beladen wordt met zuurstof, duwt die groep het gehele eiwitmolecuul wat uit elkaar en maakt ruimte vrij voor volgende zuurstofmolekulen om aan de andere drie heemgroepen te gaan zitten. Het betekent wel dat het eerste zuurstofmolecuul moeite heeft om aan het hemoglobine te worden gebonden. De natuur heeft hier echter een bedoeling mee. Het betekent namelijk omgekeerd dat bij lage zuurstofspanning, zoals in spierweefsel, het hemoglobine de zuurstof makkelijk loslaat.

Myoglobine, dat slechts één heemgroep bezit, heeft dit coöperatieve effect niet en bindt zuurstof reeds sterk bij lage zuurstofspanning. Bijgevolg wordt het zuurstof door het hemoglobine in het bloed afgegeven aan de myoglobine in de cel, waar het vervolgens suiker verbrandt en energie afgeeft. De fijne details van dit proces, dat ik hier zo globaal beschrijf, staan momenteel in het middelpunt van de belangstelling.

Een vraag waar anorganisch chemici zich lang het hoofd over gebroken hebben, is 'hoe komt het dat de zuurstof reversibel gebonden zit aan het ijzeratoom van de heemgroep?' Waarom wordt ijzer niet geoxideerd tot het driewaardig ijzer en blijft het zuurstof niet als anion stevig vastzitten? Want dat is wat er gebeurt, als men zuurstof bij een geïsoleerd heemmolecuul brengt. Het antwoord van de natuur is dat de hydrofobe eiwitomgeving waarin het heem zich bevindt, niet bevordelijk is voor een ladingsscheiding. Verder schijnt het, om het ijzer in het heem irreversibel te oxideren, nodig te zijn dat een dimeer van twee heemmolekulen gevormd wordt, verbonden door een zuurstofbrug. In het hemoglobine verhindert de ruimtelijke structuur zo'n dimerisatie. Recentelijk heeft Collman laten zien dat deze hypothesen een goede verklaring kunnen geven. Door substitutie van organische groepen aan het heemmolecuul bouwde Collman een hoog hek rondom het ijzeratoom, dat middenin het vlakke heemmolecuul zit. Een zuurstofmolecuul was nog wel in staat om het ijzeratoom binnenin de palissade van bovenaf te naderen. Is dit zuurstofmolecuul echter eenmaal aan het ijzer gebonden, dan zit het te diep om tegelijkertijd aan zijn achterkant een ander heemmolecuul te kunnen binden. Inderdaad kon Collman op deze wijze reversibel zuurstof binden aan 'picket fence porphyrine', de modelstof voor heem. Niettegenstaande dit soort successen blijven er nog problemen in de bioanorganische hoek op een antwoord wachten die voor de mensheid van groot belang zijn. Zo is de fotosynthese nog verre van opgehelderd en is ook van de stikstofbinding door de natuur nog niet al te veel bekend.

Dat ligt anders bij de meer grofstoffelijke manier van stikstofbinding door de chemische industrie. Niet alleen begrijpen we onderhand hoe die in zijn werk gaat, maar we hebben die stikstofbinding sinds het begin van deze eeuw nog dienstbaar gemaakt aan de mensheid ook. Zelfs in de eerste en tweede wereld zou het voedselvraagstuk heden ten dage een probleem zijn, ware het niet dat Haber in 1908 de synthese van ammoniak uit stikstof en waterstof gas met behulp van een ijzerkatalysator uitvond.

Hiervoor kreeg hij in 1918 de Nobelprijs. Dat elke medaille zijn keerzijde heeft, bleek al heel spoedig. Want uit ammoniak kun je door een gekatalyseerde oxidatie salpeterzuur maken volgens het Ostwald-proces (Nobelprijs 1909). En dit is een grondstof voor onder andere explosieven. Men heeft uitgerekend dat indien Duitsland niet de beschikking had gehad over het Haber-proces, de Eerste Wereldoorlog twee jaar korter had geduurd. Of dit tevens had betekend dat het rijk der tsaren niet was ingestort, vermeldt de berekening niet.

U hebt mij reeds enige malen het woord katalyse horen gebruiken, zowel in biochemisch als industrieel verband. Zoals u weet, slaat het begrip katalyse op het vermogen van bepaalde stoffen om een chemische reactie te versnellen, waarbij deze stoffen zelf na de reactie onveranderd worden teruggevonden. Evenals de woorden organische en anorganische chemie is ook het woord katalyse afkomstig van Berzelius. En net als het geloof dat 'vis vitalis' nodig was bij de organische chemie, meende Berzelius dat er zoets als een 'katalytische kracht' nodig was voor de versnelling van de reactie. Nog vandaag de dag menen sommigen niet meer van katalyse te mogen spreken, wanneer deze versnelling kan worden verklaard louter met behulp van normale fysische en chemische basisbegrippen. Het wordt tijd dat cynici de romantici een halt toeroepen. U kent de definitie van een cynicus: dat is een teleurgesteld romanticus. Dat de romantiek zich lang heeft kunnen handhaven binnen de katalyse, het laatste restant der alchemie, hangt natuurlijk samen met het feit dat het vinden van logische verklaringen voor katalytische verschijnselen lang, zeer lang heeft geduurd. En nog maken we herhaaldelijk mee, dat het oplichten van een sluier slechts de volgende sluier onthult. Toch meen ik dat we de laatste jaren in een stroomversnelling zijn geraakt. Zo moest men in de jaren dertig voor de verklaring van bepaalde reacties van koolwaterstoffen nog poneren dat zich aan het oppervlak van een metaalkatalysator bepaalde koolwaterstoffragmenten bevonden. Vandaag kan men dit soort fragmenten met behulp van technieken uit de oppervlaktefysica waarnemen en kan men deze fragmenten zelfs isoleren in de vorm van liganden in overgangsmetaalcomplexen.

Met deze twee takken van wetenschap, de oppervlaktefysica en de orga-

nometaalchemie, heb ik de elementen genoemd die momenteel de grootste invloed op de katalyse uitoefenen. Katalyse is, hetzij ter verduidelijking gezegd, absoluut niet het alleenrecht van de anorganische chemie. Verre van dat, er is nauwelijks een gebied te noemen dat meer interdisciplinair, of liever multidisciplinair, is dan katalyse. Was in de tijd van Ostwald en Haber katalyse nauw verbonden met fysische chemie en thermodynamica, later speelde de vastestofchemie een belangrijke rol. Nog kan het gebeuren dat je, als je de kamer van een katalyticus betreedt, meent bij een pingpongspeler terecht te zijn gekomen. De grote vlucht die de chemical engineering en reactor engineering neemt na de Tweede Wereldoorlog, laat ook de katalyse niet onberoerd. Meer recentelijk zijn het dan, zoals gezegd, de oppervlaktefysica en de organometaalchemie die in de katalyse de grenzen verleggen. In de eerste plaats door de grote invloed die beide gebieden uitoefenen op het begrijpen van de katalyse. Met zeer verfijnde meettechnieken kan men onder ultrahoog vacuüm waarnemen wat er aan het oppervlak van een metaal of metaaloxide gebeurt. Men kan zien hoe het oppervlak zelf eruit ziet en hoe geadsorbeerde molekulen in wisselwerking treden met het oppervlak, daarbij het oppervlak modifierend en zelf vaak in fragmenten uiteenvallend. A reason van enkele honderden kiloflorijnen kan men molekuulfragmenten waarnemen die men vroeger moest postuleren om bijvoorbeeld een kinetisch schema rond te krijgen. Niet altijd is een eenduidige interpretatie van de meetresultaten mogelijk. In zo'n geval kan de organometaalchemie de helpende hand reiken. Niet vermoede fragmenten van organische molekulen blijken als ligand op te kunnen treden in overgangsmetaalcomplexen. Soms ook was het fragment wel bekend, maar is zijn oriëntatie ten opzichte van de metaalatomyen verrassend. Met de kennis hierdoor opgedaan is het soms mogelijk de resultaten van de oppervlaktemethoden te doorgronden. Organometaalchemie biedt verder de mogelijkheid de chemie van de deelstappen van een katalytische reactie met behulp van modelstoffen apart te bestuderen. Men krijgt daardoor een beter begrip voor wat wel en niet mogelijk is. Het aantal mogelijkheden ter verklaring van een katalytische reactie kan hierdoor ingeperkt worden, al te romantische verklaringen kunnen terzijde geschoven worden.

De tweede invloed van de organometaalchemie op de katalyse is gelegen in het feit dat men van dit nieuwe deel van de chemie mag verwachten dat het zal kunnen leiden tot nieuwe katalysatoren en nieuwe chemische processen. Zo openen bijvoorbeeld de metaalclusterbindingen, met meerdere metaalatomyen in één molekuul verbonden door liganden, de mogelijkheid tot interessante nieuwe chemie.

Met name doordat koolmonoxide in dit soort molekulen dienst kan doen als ligand, zouden metaalclusterbindingen goede katalysatoren

kunnen zijn voor reacties tussen koolmonoxide en andere reaktanten. Een chemie op basis van koolmonoxide, en bijgevolg op basis van steenkool, kan hiervan het gevolg zijn.

Maar deze chemie is ook vanuit onderwijskundig standpunt van interesse. Naar mijn smaak is het van groot belang om in het onderwijs de balans van analyse versus synthese goed in het oog te houden. Al te vaak is men geneigd om genoegen te nemen met de analytische aanpak, met het verklaren, het begrijpen van reeds bekende zaken en komt men niet toe aan het zoeken naar werkelijk nieuwe chemie of fysica. Men ontkent daarmee niet alleen het karakter van de chemie, maar dwingt tevens de ontwikkeling van jonge mensen in een richting, die niet ieders sterke kant is. Wel is het waar dat het explorerend zoeken naar nieuwe chemie geen garantie voor succes biedt. Dit en de, overigens terecht, ingevoerde beperking van de promotieduur tot vier jaar moedigt niet aan om onze meest gemotiveerde onderzoekers aan geheel nieuwe dingen te zetten. Nieuwe onderwerpen zal men bijgevolg moeten voorbereiden, bijvoorbeeld met de hulp van studenten in hun afstudeerperiode. Jammer genoeg komt het mij echter voor dat er weinig docenten in Nederland zijn die de tijd zullen vinden die nodig is voor de intensieve begeleiding van afstudeerders op nieuwe onderwerpen.

Wanneer men praat over organometaalchemie en katalyse is het onvermijdelijk stil te blijven staan bij de homogene katalyse, waar katalysator, reaktanten en produkten zich alle in dezelfde fase, meestal de vloeistoffase, bevinden. Reeds bij de organometaalchemie schetste ik u welke processen op basis van homogene katalyse zijn ontwikkeld. Veel onderzoek wordt verricht naar het onoplosbaar maken van dit soort katalysatoren om de scheiding van katalysator en produkt te vergemakkelijken. De eerste onderzoekingen hebben aangetoond dat dit onoplosbaar maken kan gebeuren zonder al te veel verlies aan katalysatoreigenschappen. Dit heterogeniseren of immobiliseren houdt in dat men de katalysator bindt aan een vaste inerte drager, een anorganisch of polymeer materiaal. Nu de basisprincipes van het heterogeniseren bekend zijn, zal verder onderzoek langs deze weg niet zozeer op het terrein van de universiteit liggen alswel op het terrein van de industriële procesoptimalisatie, waartoe universiteit en technische hogeschool te enen male de benodigde achtergrondkennis ontberen.

Wel zie ik grote mogelijkheden voor het gebruik van funktionele dragermaterialen. Materialen dus die niet alleen fungeren als hechtmiddel voor de katalysator, maar die zelf één of meer functies bezitten die nieuwe dimensies geven aan het totale systeem van katalysator en drager. In de eerste plaats kan men hierbij denken aan bifunktionele katalysatoren, waar de tweede katalytische functie in het dragermateriaal verwerkt is.

Nog verder denkend komt men terecht bij synthetische enzymen. Vele mogelijkheden dienen zich aan. Denkt u bijvoorbeeld nog even terug aan het hemoglobine, waar het geïsoleerde heem een irreversibele binding met zuurstof aangaat. Het is de functie van het eiwit om niet alleen het heem vast te binden, maar tevens om het zodanig te beïnvloeden dat het zuurstof minder sterk en wel reversibel zal binden. Stel dat men vandaag de dag op zoek was naar synthetisch hemoglobine zonder het natuurlijke produkt geheel te kennen. Men zou, indien men al ontdekte dat ijzerporphyrine zuurstof kan binden, deze stof toch verwerpen want de zuurstof bindt immers irreversibel. Dit is de stand van zaken in de katalyse vandaag. Het toont aan dat wij veel weten, maar nog meer zullen moeten leren.

Dames en heren,

In het voorafgaande heb ik gepoogd u duidelijk te maken dat leven in de levenloze chemie een levendig bestaan is. De meeste voorbeelden heb ik, jammer genoeg, moeten ontlenen aan buitenlands, en niet aan Nederlands werk. Het lijkt wel of wij eerder meer dan minder achterop raken bij de Verenigde Staten. Hoe komt dat nu? Wat zouden wij kunnen leren van bijvoorbeeld een vergelijking tussen de Amerikaanse en Nederlandse situatie?

Zoals u weet heeft de Amerikaanse socioloog Philips, hoogleraar te Amsterdam, onlangs een vergelijking gemaakt tussen studenten in Nederland en Amerika, die zeer nadelig voor de Nederlandse student uitviel. De aankomende eerstejaars-student is in Nederland beter opgeleid dan de beginnende Amerikaanse student. Na vier jaar studie blijkt de Amerikaan echter verder te zijn dan de Nederlander na zeven of acht jaar studie. Dat komt volgens Philips door de apathie en zwakke motivatie van de Nederlandse student. Er wordt in Nederland minder hard gewerkt, ook al omdat nauwelijks van studiedwang sprake is. Nu zou u kunnen stellen dat hier een socioloog spreekt en dat wat mogelijk voor sociologie waar is, toch niet voor scheikunde opgaat. Maar beluisteren wij dan het geluid van de scheikundige kant. Onder de hoogleraren in de scheikunde is daar professor Kommandeur en die is het hartgrondig met Philips eens.

Overigens laten beide heren het niet bij de studenten, zij sparen ook het wetenschappelijk corps niet. Het peil is laag, de onderzoekservaring gering, de controle en kwaliteit nauwelijks aanwezig en promotie te vanzelfsprekend. Philips geeft aan wat de reden voor dit alles is: het ontbreken van prestatiedrang, van concurrentie, van selectie. In principe ben ik het geheel met hem eens, maar wil ik er daarom juist wel enige kante-

keningen bij plaatsen. In de eerste plaats worden dit soort vergelijkingen altijd gemaakt tussen een Nederlandse universiteit en de beste Amerikaanse universiteiten. En daar beginnen de moeilijkheden al; wij hebben geen goede en minder goede universiteiten, maar de Amerikanen wel. Zowel qua staf als qua studenten vindt bij hen een selectieproces plaats. Een eerlijke vergelijking zal dan ook veeleer tussen de Nederlandse universiteit en de gemiddelde Amerikaanse universiteit moeten plaatsvinden. En dan is er naar mijn gevoel van discrepanties weinig sprake meer, althans in de natuurwetenschappen, het gebied waar ik zelf enigszins tot vergelijken in staat ben. Wel is het waar dat de Nederlandse topprestaties schril afsteken bij de Amerikaanse. Maar betekent dit niet dat het Nederlandse landschap er uit ziet als een vlakte op een bepaald nivo met weinig accidentering, terwijl het Amerikaanse wetenschappelijke landschap op vrijwel hetzelfde gemiddelde nivo ligt, maar met veel meer hoge bergen en diepe dalen? Als dat zo is, is dan de Nederlandse wetenschappelijke topologie niet een uitvloeisel van onze aard? En hoe zouden wij die situatie dan kunnen wijzigen?

Laat ik u over het maken van vergelijkingen en over het willen wijzigen een geruststellend citaat geven. Het is van een Rus, zij het een uit 1858. Ik laat u een kleine parafrase horen op een passage uit het boek *Oblovov* van de schrijver Gontsjarov.

Het begint ermee dat Zachar, de huisknecht van de landjonker Ilja Iljitsj Oblovov, opmerkt tegen zijn heer: 'Anderen zijn toch niet anders dan wij, wat anderen kunnen moeten wij toch ook kunnen'. 'Wat? Wat zeg je?!' vroeg Oblovov ontzet, zich in bed oprichtend. 'Ik net als een ander! Grote God!' steunde Oblovov. 'Maak ik me soms wel eens druk? Werk ik? Nog nooit in mijn leven heb ik zelf een kous aangetrokken, God zij dank. Maak ik me ooit ergens zorgen over? Waarom zou ik? Hoe is het in hemelsnaam in je opgekomen mij met anderen te vergelijken? Ben ik soms ijzersterk als zij, zou ik dat alles kunnen verduren? Hoe heb je mij zo bitter kunnen grieven'. Het duurde lang voor Oblovov weer tot zichzelf kwam en terug in bed ging liggen.

Wie de kous past trekke hem aan!

De tweede kanttekening die ik bij de opmerkingen van Philips wil plaatsen betreft de begrippen selectie en concurrentie. Niet alleen het wetenschappelijke bestel, maar het gehele maatschappelijke bestel is in de Verenigde Staten gebaseerd op selectie en concurrentie. Een voortdurende nadruk op hard werken, op presteren, op het verrichten van goed onderzoek door docenten, op publiceren, het verwerven van een aanstelling aan een betere universiteit, enzovoorts. Zo'n systeem leidt tot verschillen, tot accidentering en tot topprestaties. Maar hoe plaats je zo'n systeem over naar Nederland? Ons land is veel te klein voor het doeltref-

fend laten werken van zo'n selectie- en concurrentiemodel. We hebben er al niet eens genoeg topmensen voor. En wie wil er zo graag selectie en concurrentie? De universiteiten zeker niet. Pogingen tot het instellen van centres of excellence zijn al jaren geleden in de kiem gesmoord. En zou zo'n systeem wel algemeen geaccepteerd worden, is het dan niet vreemd aan het Nederlandse karakter? Wij zijn toch een volk van schavers. Ik doel hierbij niet op onze voetbalkwaliteiten, maar op het feit dat wij de neiging hebben om een ieder die zich boven het maaiveld verheft zo vlug mogelijk weer tot grondnivo terug te brengen. Een selectiesysteem hebben wij nooit gewild in ons schoolsysteem. Ook de nieuwe minister van onderwijs stelt de selectie in het hoger onderwijs weer zo lang mogelijk uit. Niet selekteren aan de poort van de universiteit maar pas aan het eind van de eerste studiefase. Indien wij uitgaan van de stelling dat een diploma in principe toegang behoort te garanderen tot de volgende opleidingsfase, dan zie ik niet in op welke gronden men wel studenten kan weigeren tot de tweede fase en niet tot de eerste fase. Maar als er dan toch geselecteerd moet worden, waarom dat dan eerst aangedurfd in de allerlaatste fase van het gehele school- en studieverloop?'

Dames en heren,

Naast onderzoek is ook onderwijs een groot goed dat ons aller aandacht verdient. Ik hoop dat u uit mijn woorden hebt kunnen opmaken dat het niet aan mijn aandacht zal ontsnappen. Tenslotte is goed onderwijs en ruime ontplooiingsmogelijkheden voor allen het doel waarnaar wij streven.

Aan het einde gekomen van mijn voordracht over leven in de levenloze chemie wil ik allereerst mijn dank betuigen aan Hare Majesteit Koningin Juliana voor mijn benoeming aan deze Technische Hogeschool. Met Haar vooruitziende blik heeft Zij eerder dan Haar adviseurs hier ter stede ingezien, dat budgettaire tekorten geen tekorten maar overschotten zouden kunnen worden, waardoor Zij mij toch op afzienbare termijn in dienst heeft kunnen nemen.

Op dit ogenblik voel ik mij geroepen de nagedachtenis te eren van mijn hooggeschatte leermeester professor Hoijtink. Zijn vermogen om mensen te enthousiasmeren voor de wetenschap en zijn voortdurend pogen om experimentele gegevens te doorgronden in termen van chemische en fysische basisprincipes zullen altijd een lichtend voorbeeld voor mij zijn.

Dames en heren, leden van de afdeling der Scheikundige Technologie,
Chemie en chemische technologie zijn boeiende zaken, waaruit wij meer dan voldoende inspiratie kunnen putten voor het vinden van onze gezamenlijke weg in de toekomst. Natuurlijk hebben wij allen ons eigen specialisme, maar laten wij, of wij nu S of T heten, bereid blijven naar elkaar te luisteren en van elkaar te leren.

Waarde Schuit, beste George,

Het is een grote eer om jou, de eerste hoogleraar in de katalyse in Nederland, te mogen opvolgen. Ik kan niet meer dan mijn uiterste best doen om die eer waardig te zijn. Het is echter een onmogelijke opgave om jouw rol in het totale katalytische gebeuren over te nemen en dat zal ik ook zeker niet proberen. Dat je mij bij mijn entree, in wat toch jouw laboratorium genoemd mag worden, volledig vrij gelaten hebt, heb ik buitengewoon op prijs gesteld. Ik hoop nog geruime tijd een beroep te mogen doen op je grote kennis en ervaring en mij te mogen spiegelen aan je vitaliteit en creativiteit.

Waarde Van Hooff, beste Jan,

De plezierige wijze waarop je mij wegwijs hebt gemaakt in de vakgroep en in WUB'se zaken, heb ik zeer gewaardeerd. Ons beider interesse in onderzoek en onderwijs doet mij erop vertrouwen dat de prettige samenwerking ook in de toekomst voortgezet zal worden.

Waarde Stevels,

Formeel gesproken zullen wij slechts veertien dagen gezamenlijk onderwijs in de anorganische chemie verzorgen. Niettegenstaande dat ben ik reeds onder de indruk gekomen van je hartstochtelijke liefde voor het vak.

Dames en Heren, leden van de vakgroep Anorganische Chemie,

Een nieuwe lente, een nieuw geluid. Maar het holle geluid van de lege Eindhovense geldbuidel noopte mij eerst in de herfst te verschijnen. Inmiddels ben ik ruim een jaar in uw midden en voel mij, dank zij uw steun en medewerking, geheel thuis. Wij allen, maar wij niet alleen, zitten in een overgangsfase waarin veel van ons gevraagd wordt. Ik ben er echter van overtuigd dat wij de moeilijkheden zullen kunnen overwinnen mits wij van goede en vaste wille zijn. Zegt niet een Chinees spreekwoord: 'Wees niet bevreesd langzaam vooruit te komen, maar wel stil te blijven staan'.

Mijne Heren directeuren, oud-collega's, medewerkers en vrienden van het Koninklijke/Shell Laboratorium te Amsterdam,

'Once upon a time in the west' heeft, met een onderbreking van een jaar Verenigde Staten, tien jaar geduurd. Men zegt wel dat je iets pas waardeert als je het mist. Naar die maatstaf gemeten heb ik de tijd bij u doorgebracht, zeer gewaardeerd; het is een groot voorrecht in uw laboratorium werkzaam te zijn geweest. Ik heb er veel geleerd op het gebied van zuiver fundamenteel onderzoek als ook op het gebied van het toegepaste onderzoek.

Uw streven om de democratie ingang te doen vinden in het laboratorium heeft mij geïmponeerd. De resultaten sla ik, zeker nu als buitenstaander, hoog aan. Het feit dat u topmensen op elk nivo hebt zitten en dat uw 'esprit de corps' voortreffelijk is, is hieraan natuurlijk niet vreemd.

Waarde Sachtler, beste Wolfgang,

Jouw grote analytische denkvermogen en je snelle manier van reageren dwingt de mensen ertoe zorgvuldig te formuleren en plannen goed voor te bereiden. Ik prijs mij gelukkig dat ik deze leerschool bij jou heb mogen doorlopen, het zal mij zeer ten goede komen in mijn verdere loopbaan. De vrijheid, in gebondenheid, die ik in jouw afdeling had, heb ik zeer gewaardeerd. Ik hoop dat ik ook in de toekomst nog vaak met je van gedachten mag wisselen en van je grote kennis en ervaring mag leren.

Dames en heren studenten,

Uw aanwezigheid hier in deze technische hogeschool is de grondslag voor mijn aanwezigheid. Ik ben mij dat bewust en ik neem gaarne de taak op mij bij te dragen tot uw chemische vorming en de taak u te begeleiden op uw weg naar een zelfstandige loopbaan binnen de chemie en haar vele toepassingsgebieden. Op dit ogenblik komt mij het motto voor de geest dat een kollega in Berkeley hanteert in zijn omgang met studenten: 'Je kunt een paard niet optillen!' Uw eerste reactie is er begrijpelijk een van bevreemding.

Een vergelijking met een paard, hoe nobel ook, lijkt wat ongewoon. Luistert u echter naar de uitleg van Herbert von Karajan, van wie de uitspraak afkomstig is. Von Karajan had reeds op jeugdige leeftijd een springpaard en hij oefende voor een springconcours. Lange tijd had hij met ijver en zorg het paard getraind, maar de avond voor de wedstrijd kon hij de slaap niet vatten. Uren lag hij te woelen en te piekeren. In zijn dromen had hij het dier wel over de hindernissen heen willen tillen. Maar opeens kreeg hij de bevrijdende gedachte 'je kunt een paard niet optillen' en tevreden sloep hij in. Als je namelijk je uiterste best gedaan hebt tijdens de training, is dat alles wat je hebt kunnen doen. De rest

moet vanzelf komen, je kunt toch niet het dier over de hindernis dragen. Als de opleiding goed geweest is zal het later ook wel lukken. En je kunt dan beter tijdig het dier al aan vrijheid en zelfstandigheid hebben laten wennen. Eens komt toch de dag dat je alles moet overlaten. Je leidt op tot volwassenheid, tot op eigen benen staan, niet tot afhankelijkheid.

Dames en heren,

In dit uur heb ik u meegenomen naar de levenloze, anorganische chemie en heb ik getracht u te laten zien dat die chemie integendeel vaak zeer levendig en zelfs afkomstig uit organen kan zijn. Ik hoop u in elk geval duidelijk gemaakt te hebben dat leven in de anorganische chemie een levendig bestaan is.

Ik heb gezegd.

Literatuur

- G. Lockemann, 'Geschichte der Chemie', Berlin 1955.
R. Metselaar, 'Leven met fouten', Eindhoven 1977.
G.W. Parshall en J.J. Mrowca, *Advances in Organometallic Chemistry*, 7, 157, 1968.
G. Wilkinson, *Angewandte Chemie*, 86, 664, 1974.
J.P. Collman, *Accounts of Chemical Research*, 10, 265, 1977.
D. Philips, *De Gids*, 140, 615, 1977.
I.A. Gontsjarov, 'Oblomov', G.A. van Oorschot, Amsterdam 1938.