

Chemie en katalyse

Schuit, G.C.A.

Gepubliceerd: 01/01/1961

Document Version

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the author's 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 ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

CHEMIE EN KATALYSE

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING VAN

HET AMBT VAN GEWOON HOGLERAAR

IN DE AFDELING DER

SCHEIKUNDIGE TECHNOLOGIE

AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL

TE EINDHOVEN

OP VRIJDAG 2 JUNI 1961

DOOR

Dr. G. C. A. SCHUIT

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

Zeer gewaardeerde toeboorders,

Er bestaat een verhaal over een zekere Mr. Green, boer en hoefsmid ergens in de vroegere Engelse kolonies, nu beter bekend als de Verenigde Staten van Amerika, dat zich afspeelt ten tijde van de Amerikaanse revolutie. Deze Mr. Green was blijkbaar een serieuze man, die zich ernstig beraadde op zijn taken in het leven. Het was hem niet ontgaan dat de donkere wolken van de oorlog zich samenvakten boven zijn land en hij meende goed te doen zich op de komende perikelen voor te bereiden door een studie van Julius Caesar's "Gallische Oorlogen". Na dit boek grondig doorgewerkt te hebben gordde hij zich ten strijde en trok op tegen de Engelsen. Het succes dat Mr. Green had, moet voor hem wel een bron van grote voldoening zijn geweest: enige jaren later vinden wij de Engelsen aan de verliezende hand en Mr. Green in de functie van generaal.

Men zou dit verhaal als een passend voorbeeld voor het nut van literatuurstudie kunnen aanhalen, ofschoon er enige twijfel overblijft of ten tijde van Mr. Green geen moderne leerboeken over de kunst van het oorlogvoeren ter beschikking stonden. Het zou bovendien ongetwijfeld te ver voeren om de figuur van Julius Caesar een rol in de geschiedenis van de Verenigde Staten toe te kennen. Van meer gewicht is wellicht geweest het natuurlijke talent dat onze pionier voor het oorlogsvak meebracht, waardoor hij zelfs uit verouderde literatuur voldoende gegevens kon putten om tot een gunstige oplossing van een eenmaal gesteld probleem te komen. Het is om deze reden dat wij op dit ogenblik zeer geïnteresseerd zijn in de persoon

van Mr. Green: hij blijkt namelijk als symbool te kunnen fungeren voor het soort chemici dat zich aangetrokken heeft gevoeld tot de katalyse. De naam *katalyse* schijnt afkomstig te zijn van BERZELIUS, die hiermede een aantal in wezen tamelijk uiteenlopende, maar oppervlakkig gezien analoge verschijnselen onder één hoofd tezamenbracht. De soort verschijnselen zal velen van U bekend zijn: het betreft (in hoofdzaak) chemische reacties die theoretisch mogelijk zijn, doch uit zichzelf moeilijk op gang komen. Voegt men echter aan het systeem een kleine hoeveelheid van een hulpstof toe, *katalysator* genoemd, dan voltrekt zich de reactie met grote snelheid. Een stof die een goede katalysator is voor een bepaald reactietype, kan zonder werking zijn voor een ander type; men noemt dit de specificiteit van de katalysator. Het valt tevens op dat de katalysator tijdens de reactie schijnbaar onveranderd blijft: zo op het oog neemt hij geen deel aan het proces dat toch zo ingrijpend beïnvloed wordt.

Veel is intussen over aard, wezen en werkingssfeer van allerlei soorten katalysatoren bekend geworden.

Soms is de katalysator als moleculen verdeeld in het reactiemengsel. Men spreekt dan van homogene katalyse. Een goed voorbeeld hiervoor is het „Iodenkamerproces” ter bereiding van zwavelzuur, waar de katalysator, het NO, zich volledig mengt met de reactiegassen. Het is echter volstrekt niet nodig dat er volledige menging is. Andere, meer moderne katalysatoren voor hetzelfde proces zijn het platina en het vanadiumoxide, beide vaste stoffen; men noemt dit heterogene katalyse. In dit geval - en wij zullen het in het volgende voornamelijk hierover hebben - blijkt het dikwijls voordelig om de vaste katalysator zo fijn mogelijk te verdelen.

Deze waarneming leidt tot het vermoeden dat de reactie zich afspeelt aan het oppervlak van de vaste stof. Gedreven door de noodzaak om grote oppervlakken te produceren, zijn de experts in de bereiding van katalysatoren er dan ook in geslaagd opmerkelijke prestaties in deze richting te verwezenlijken. Het paradepaard is hier de katalysator voor het kraken van zwaardere petroleumfracties tot motorbenzines. Eén gram van zo'n katalysator heeft een oppervlak van 600 m² en de stof is feitelijk een netwerk van zeer nauwe kanalen - poriën genoemd - die net wijd genoeg zijn om de reagerende moleculen toe te laten. Terwijl de diameter van een porie vergelijkbaar is met die van een molecule, zo in de orde grootte van een tienmiljoenste centimeter, is de totale lengte der poriën per gram van astronomische afmetingen, ongeveer vergelijkbaar met de afstand tussen de aarde en de zon.

De stelling dat een vaste katalysator een groot oppervlak moet hebben is niet omkeerbaar, d.w.z. niet alle stoffen met een groot oppervlak zijn katalysatoren. Het verschijnsel van de specificiteit is daar trouwens reeds een voldoende bewijs voor. Met de vraag, wat dan wél de activiteit bepaalt, zullen wij ons in het volgende bezig houden.

Het is daarbij niet zeker of Berzelius met de schepping van het begrip katalyse wel een gelukkige greep heeft gedaan.

In de eerste plaats kan het geven van een naam aan een groep onbegrepen verschijnselen zeer misleidend zijn en het denken in een verkeerde richting drijven. Daar komt nog bij dat er een zekere nadruk gelegd wordt op het onveranderd blijven van de katalysator: dit schijnt wat mysterieus en de gedachte is in strijd met ons gevoel voor logica. Doch het is ongetwijfeld waar dat dit mysterieus aspect op de verbeelding heeft gewerkt van een klasse chemici, die men mét RIJNDERS als romantisch kan betitelen. De representanten van deze groep vindt men voornamelijk werkzaam bij het industrieel speurwerk. Voor deze „moderne alchemisten” opende zich hier een veld vol aantrekkelijke mogelijkheden tot speculaties, waarin zij zich, ongeremd door een streng wetenschappelijke kritiek, uit konden leven. Het resultaat van deze vrijheid is een bouwwerk van gigantische proporties, de hedendaagse chemische industrie, een bouwwerk dat letterlijk gedragen wordt door de katalyse. Want de stikstof uit de lucht wordt omgezet tot kunstmest; de ruwe olie wordt veredeld tot produkten van zeer hoge kwaliteit, zoals de klopvaste benzine en zwavelvrije gasolie, maar ook tot grondstoffen voor de bereiding van synthetische rubber en synthetische vezels, alles via katalytische processen. En tenslotte is zelfs de polymerisatie, het vormen van macromoleculen, een zaak van de katalysatorexpert geworden: hij vervaardigt zodoende het polyetheen en polypropreen.

Het meest verbazingwekkende in deze prestatie is wellicht het bijkans volkomen gebrek aan begrip van de werkingswijze van een katalysator. De synthese van ammoniak was bijvoorbeeld reeds lang tot een volwaardig proces uitgegroeid, voordat men enig idee begon te krijgen van de functie van de ijzerkatalysator. De eerste reusachtige installaties voor het katalytisch kraken bestonden reeds jaren alvorens men ontdekte dat de vermeende katalysator voor dit procédé - het silicagel - alleen werkzaam was bij de gratie van een toevallig aanwezig verontreiniging in de vorm van aluminium. Een ander voorbeeld: terwijl de plastics al in grote hoeveelheden op de markt

komen, is de katalysator voor de polymerisatiereactie nog een mysterie.

De uitvinders van deze procédés deden net als onze Mr. Green: met de kennis uit voor hun doel verouderde leerboeken trokken zij ten strijde om hun industriële veldslagen te winnen. Men kan niet anders dan DR. HEINEMANN, inleider op het katalytisch congres te Parijs in 1960, gelijk geven als hij beweert dat de katalyse een door de industriële werker geschapen gebied is, voornamelijk gebaseerd op empirische kennis, waartoe de wetenschap weinig heeft bijgedragen. Aan deze stelling voegde Heinemann echter nog een tweede toe: volgens hem zal een verdere empirische uitbreiding steeds moeilijker worden en tenslotte niet meer mogelijk zijn. Men kan namelijk formeel het toevoegen van een katalysator aan een reactiesysteem beschouwen als een instructie aan de natuur om een van de vele reactiemogelijkheden die haar ter beschikking staan, te kiezen. Tot nog toe zijn deze instructies van betrekkelijk simpele aard geweest - een mengsel van stikstof en waterstof kon niet veel anders doen dan tot ammoniak te reageren. Doch onze instructies worden geleidelijk ingewikkelder. De katalysator die gebruikt wordt in het moderne katalytisch reformeren van natuurlijke benzines, bevat al minstens twee instructies, namelijk één tot het tijdelijk afstaan van een deel van de gebonden waterstof en één tot het omvormen van de rest van het molecule. Nog veel verder gaan wij in de huidige olefinepolymerisatie. Hier worden verscheidene voorschriften tegelijk gegeven, waarvan één van bijzondere betekenis is. Men slaagt er daar in om de moleculen te beduiden zich op een bepaalde wijze aan elkaar te koppelen. In het geval van de polymerisatie van het propaan leidt dit tot de vorming van reusachtige moleculen, die zeer regelmatig opgebouwd zijn. Zij lijken op schroeven, die óf linksdraaiend óf rechtsdraaiend zijn, terwijl er ook een mogelijkheid schijnt te bestaan om een regelmatige afwisseling van links- en rechtsdraaiend te realiseren. Het eerste geval noemt men isotactische, het tweede syndiotactische polymerisatie. De techniek toont een bijzondere belangstelling voor deze produkten, omdat zij vele eigenschappen hebben die hen gunstig doen afsteken tegen de macromoleculen met een wanordelijke structuur. Ons interesseert echter op dit moment vooral het feit dat wij hiermede de levende natuur gaan benaderen in de kunst van het verwezenlijken van stereospecifieke reacties.

Men kan zich nu afvragen of de verdere ontwikkeling zal gaan in de richting van een verdere verfijning van de instructies. Persoonlijk

ben ik van mening dat wij inderdaad eerst aan het begin staan van een grote ontwikkeling en ik zou dit oordeel willen baseren op een vergelijking van ons huidig kunnen met de prestaties van de levende materie. Het uiterst ingewikkelde systeem van reacties dat het leven mogelijk maakt, wordt beheerst door een reeks stoffen, de enzymen, die we zouden moeten definiëren als katalysatoren. Twee stoffen van vitaal belang in dit samenspel, de rode kleurstof van het bloed en de groene kleurstof van de planten, hebben zelfs een duidelijke anorganische inslag; het zijn complexen van respectievelijk ijzer en magnesium.

Doch het treffendste voorbeeld van een katalysator die feitelijk niets anders is dan een combinatie van instructies, vindt men in stoffen als het deoxyribonucleïnezuur (DNA). De structuur en het gedrag van een organisme worden uiteindelijk bepaald door zijn eiwitten, terwijl de bouw van de eiwitten weer afhankelijk blijkt van de eigenschappen van de hier genoemde enzymen. Het is nu J. D. WATSON en F. H. C. CRICK gelukt de structuur hiervan op te helderen. Het DNA bestaat uit vier nucleotiden, die een macromolecule vormen. Zij zijn daarbij bijeen gevoegd tot twee lintvormige stroken die tezamen een spiraal vormen. Door de afwisseling van de vier nucleotiden te variëren kan het enzyme een groot aantal a priori verschillende structuren aannemen. Het wordt daarmee tot een soort informatiebron vergelijkbaar met een ponsband, waarbij de groepering van de vier bouwstenen de codering van de instructie vormt. Deze instructie bereikt nu een dergelijke volmaaktheid van zeggingskracht, dat de individuele geaardheid van elk individu temidden van de miljarden op aarde begrijpelijk wordt.

Wij zijn met recht trots op wat wij bereikt hebben in de chemie, doch vergeleken met de biochemische processen zijn onze instructies nog niet veel meer dan kreten van een pasgeboren kind, uiterst simpel en, zoals U ongetwijfeld bekend is, nogal met ruis behept. Het kind moet het zinvol spreken van een taal leren om verder te komen en zo zullen ook wij onze instructies moeten coderen in een taal, die geheel is aangepast aan onze kennis van de moleculen.

Hoe staat het met onze huidige kennis?

Zoals het voorgaande U al heeft doen vermoeden is deze nog erg mager en ik wil met U de oorzaken van deze trage vorderingen analyseren.

Tot beter begrip van de moeilijkheden zullen wij schimmen uit het verleden gaan oproepen, schimmen die min of meer chemische

Elckerlycs moeten zijn, dat wil zeggen meer schaduwen dan werkelijke persoonlijkheden.

Daar hebben wij om te beginnen de organisch-chemicus, van wie wij mochten verwachten, dat hij grote belangstelling zou hebben getoond voor de heterogene katalyse; immers het merendeel van de katalytische reacties behoorde tot zijn gebied. Niettemin blijkt het aantal figuren van importantie uit de wereld van de organische chemie, dat zich met het probleem van de katalyse heeft bezig gehouden, op de vingers van één hand te tellen te zijn. De oorzaak van deze inertie is duidelijk: weliswaar is de reactie een organisch-chemische, doch de katalysator is vrijwel steeds een anorganische stof. Mocht onze organicus al vertrouwd zijn met de reactie, de katalysator lag buiten zijn gezichtsveld. Ergo borg hij hem op in zijn toch al omvangrijke bagage van synthetische trucs en bekommerde er zich niet meer om.

Het omgekeerde gebeurde met de anorganicus. Hem was de katalysator als stof bekend, doch de reactie interesseerde hem niet. Ook hij distancieerde zich dus van het probleem.

De diepere oorzaak van deze moeilijkheden lag in een verschil in denkpatroon, met andere woorden in het hanteren van verschillende „wetenschappelijke talen”. Het is de taak van een theorie om de ervaringsfeiten te systematiseren, uitgaande van enkele fundamentele principes. De theorie van de chemie gaat daarbij uit van een beeld van de chemische binding en de moeilijkheid is nu dat er twee diametraal verschillende opvattingen zijn: de organische en de anorganische. Het bindingsstreepje van de organicus representeert een in de ruimte gericht verschijnsel en in combinatie met het begrip valentie de principiële noodzaak van het bestaan van moleculen. De structuur van een molecule bepaalt dan verder hoe het kan reageren en hoeveel neiging het daartoe heeft, dus hoe reactief het is. De golfmechanische beschrijvingswijze heeft het valentiestreepje van de oude organicus omgevormd tot de covalente of elektronenpaarbinding. De valentie-elektronen - de kit van de chemische verbinding - bevinden zich in dit beeld in paren tussen de gebonden atomen.

De anorganische-chemische binding is er één tussen elektrisch geladen ionen: de bindingselektronen zijn geconcentreerd op het negatieve anion, ofschoon gedeeltelijk afkomstig van het positieve kation. Gerichtheid in de ruimte bestaat niet, evenmin als moleculen. Er bestaan alleen stapelingen van positieve en negatieve bollen dus kristallen. Reactiviteit is een zaak van milieu: in een vloeistof met een grote diëlektrische constante kunnen de ionen tijdelijk van elkaar

verwijderd worden om zich daarna op andere wijze te stapelen, dus een nieuwe verbinding te vormen.

Het zal zonder meer duidelijk zijn dat deze fundamenteel verschillende benaderingen niet tot samenwerking te brengen zijn en dit is nu juist zo nodig voor de verklaring van het verschijnsel katalyse. Of katalyse ooit begrepen zal worden, hangt dan ook af van het al of niet vinden van een theorie, die de organische en de anorganische versie als bijzondere gevallen inhoudt.

Intussen had zich een ander type chemicus, de fysico-chemicus, altijd zeer geïnteresseerd getoond voor de katalyse. Hij was de man die begrip voor de snelheid van een chemische reactie had gewekt en had ingezien dat er een verband bestond tussen concentratieafhankelijkheid en absolute snelheid. Hij was ook vertrouwd met verschijnselen aan oppervlakken; één van zijn roemruchtste wapenfeiten was de verklaring van de stabiliteit van colloïdale systemen. En als er ooit ergens een goede gelegenheid aanwezig scheen om begrippen over te brengen van het ene naar het andere, dan was het hier. Per slot van rekening, zowel katalysatoren als colloïden waren systemen van fijnverdeelde materie met een groot oppervlak.

Het was LANGMUIR die de stoot gaf tot de komende ontwikkeling. Hij stelde een model van het oppervlak voor dat heel veel leek op een dambord. De witte schijven waren de representanten van één der reagerende moleculesoorten, de zwarte van de andere. Als er zich nu een witte naast een zwarte schijf bevond, kon men reactie krijgen. Er was overigens nog wel iets vreemds aan de hand met de schijven. Sommige kleefden hardnekkig aan het dambord en waren er vrijwel niet van te verwijderen, doch andere sprongen er zo gauw mogelijk van af. Men drukt dit technisch uit door te zeggen dat de eerste soort sterk, de tweede zwak geadsorbeerd werd. Sterke adsorptie was kennelijk niet gewenst - de schijven waren dan moeilijk tot reactie te bewegen. Zwakke adsorptie was ook niet erg aantrekkelijk - er zouden dan te weinig schijven zijn om mee te spelen. Stelt U zich nu twee spelers voor waarvan de één met grote inspanning van krachten tracht de witte stukken te verschuiven, terwijl de tweede zich voornamelijk onledig houdt met het vangen van de rondvliegende zwarte stukken, dan zult U inzien dat het eigenlijke spel wel eens in de verdrukking zou kunnen komen. Het wordt dan begrijpelijk waarom in de katalyse zoveel aandacht aan de adsorptie wordt besteed. Nu kent ook de colloïdchemie het verschijnsel van adsorptie en de fysico-chemicus had er zelfs een verklaring voor gegeven, die typisch

anorganisch, dus elektrostatisch was. Deze verklaring bleek echter in de katalyse onvruchtbaar; ook hier was het „taal“-gebruik te lokaal. De katalytische onderzoeker bleef dus zitten met een voor hem belangrijk fenomeen, dat hij niet in algemene termen kon verklaren, met het ietwat treurige gevolg dat hij er een eigen streektaaltje op na ging houden, voor iedereen, behalve voor zijn soortgenoten onverstaanbaar. En daarmee werd de katalyse, wetenschappelijk gesproken, een achtergebleven gebied.

Daar kwam nog iets bij dat de situatie verergerde. Langmuir had gesteld dat adsorptie noodzakelijk was voor reactie, doch de volgende vraag was of adsorptie ook voldoende was. Met andere woorden: treedt reactie altijd op als de moleculen passend geadsorbeerd worden? Ofschoon feitelijk ongefundeerd, is er een neiging om deze vraag in bevestigende zin te beantwoorden. Men wordt dan echter direct geconfronteerd met de volgende vraag, namelijk hoe dit verklaard kan worden.

De fysico-chemicus had zich reeds een model geschapen voor het begrijpen van een chemische reactie, dat vergelijkbaar is met een beschouwing over de verkeersintensiteit tussen twee naburige plaatsen, elk gelegen in een dal, maar gescheiden door een bergrug. Als er een lage pas bestaat, kan men een intensief verkeer verwachten. Is de pas echter hoog dan is het maar een mager stroompje mensen dat de bergrug oversteekt. Vervang nu mensen door moleculen en noem de pashoogte de activeringsenergie en U heeft het fysisch-chemische model van de reactiesnelheid. In de terminologie van dit model moet dus de katalysator de pashoogte drastisch verlagen, vandaar de beroemde, of misschien wel beruchte uitspraak: katalysatoren verlagen de activeringsenergie van een reactie. Om wat preciezer te zijn, het moest inderdaad zo zijn dat de pashoogte verlaagd werd - men mocht geen gebruik maken van tunnels of helikopters.

Nu zult U het met me eens zijn dat de bewoners van München en Milaan enigszins verbaasd zouden zijn, indien zij op een goede dag elkaar plotseling veel gemakkelijker konden bezoeken, omdat de Alpen aan het verzakken geraakt waren. Een verwijzing naar het bestaan van katalysatoren zou hen weinig bevredigen en zij zouden waarschijnlijk aandringen op een meer afdoende verklaring van het gebeurde. Evenzo vergde men van de fysico-chemicus een afdoende verklaring van zijn these. Edoch, hij moest het antwoord schuldig blijven. En zo zaten de theoretici dus met de brokken in de vorm van

de begrippen adsorptie en verlaging van activeringsenergie, waarmee niemand in de chemie raad wist.

Terwijl nu de theoretici in de chemie in ernstige moeilijkheden waren bij hun pogingen om de katalyse te verklaren, ging de industrie haar gang en schiep het ene na het andere belangrijke proces. Men kan zich dus zeer wel voorstellen dat er een sfeer van nervositeit en spanning ging heersen, die zich uitte in pogingen om noodoplossingen te vinden. Men keek links en rechts rond in de chemie of er dan niet ergens iets was dat op de katalytische verschijnselen leek en dat dus als leidraad voor de oplossing van het probleem kon dienen. En inderdaad vond men iets. Er bestaat een merkwaardig fenomeen in de katalyse, dat men met de naam *promotie* versierd heeft. Het houdt in dat katalysatoren aanzienlijk actiever gemaakt kunnen worden door er kleine hoeveelheden van op zichzelf niet actieve stoffen aan toe te voegen. Een min of meer analoog verschijnsel vindt men in de techniek van de half-geleiders, waar het elektrische geleidingsvermogen van een vaste stof soms drastisch veranderd kan worden door kleine toevoegingen, de „dopes”. De half-geleider-fysicus weet hoe hij zijn verschijnselen moet verklaren: zij hangen volgens hem samen met fouten in de structuur van de vaste stof. Zijn theorie, die dus voornamelijk beoogt het geleidingsvermogen in de vaste stof door elektronen of hun tegenvoeters, de positieve „gaten” te verklaren, is een voor zijn doel pasklaar gemaakt instrument.

Getroffen door de uiterlijke overeenkomst tussen de beide typen verschijnselen, ging men in de katalyse overstag. De half-geleidertheorie werd onder luide bijval geadopteerd en ter viering van dit feit voorzien van een nieuwe naam: voortaan sprak men van de elektronische factor in de katalyse. Roosterstoringen kwamen in de mode en voorspellingen werden gedaan over de wijze waarop men katalysatoren zou kunnen maken. Of in een gangbare formulering: *surface chemistry explained by imperfections in the solid.*

Toen men na enige tijd de balans opmaakte, viel het resultaat niet mee. De natuur bleek zich weinig aan te trekken van de voorspellingen en de theorie in haar oorspronkelijke vorm bleek niet rechtstreeks bruikbaar - er moest aan vertimmerd worden. De katalyticus is vanzelfsprekend vooral geïnteresseerd in de situatie aan het oppervlak, maar het is juist daar dat met de half-geleiders-theorie lastig valt te manipuleren. Bovendien was er een principiële moeilijkheid: de opzet van de theorie was nu eenmaal de verklaring van het transport

van elektrische lading en in deze functie bleef zij hardnekkig per-
sisteren. De aan het oppervlak geadsorbeerde organische moleculen
werden dus plichtsgetrouw voorzien van elektronen of positieve
gaten. Vroeg men dan de organicus hoe deze moleculen zouden
reageren, dan bleek het resultaat weinig bevredigend. Zo hij al in
staat was een antwoord te geven dan bleek dit meestal een reactie
te impliceren, die in het geheel niet waargenomen was.

„Superficial chemistry and solid imperfections” - zo vat professor
F. C. TOMPKINS zijn oordeel over de theorie dan ook samen in de titel
van zijn inaugurele oratie.

Nog niet zo lang geleden zijn er echter in de chemie dingen gebeurd
die een drastische verandering in de tot nog toe bestaande scheiding
tussen organische en anorganische chemie blijken in te luiden.

Er is altijd een gebied geweest - de chemie van de metaal-organische
verbindingen - waarvan men niet goed wist welke taal te gebruiken
ter beschrijving van de gevonden regelmatigheden. Het is deze chemie
die in de laatste decade met sprongen vooruit is gegaan. In de eerste
plaats heeft men een reeks nieuwe verbindingen ontdekt van een
structuur die volkomen onverwacht was. Ik heb hier het oog op ver-
bindingen zoals ferrocen, waar een typisch anorganische bouwsteen
als het ijzerion blijkt te verkeren in het gezelschap van twee onver-
valste organische bouwstenen: de cyclopentadien radicalen. Als men
een plaatje van dit ferrocenmolecule bekijkt, zit het ijzerion als een
soort boterhambelegsel tussen twee vlakke vijfhoeken van de or-
ganische bouwstenen. Vandaar de naam "sandwich-verbindingen".
Bepaald opvallend is de stabiliteit van het complex: het organische
radicaal en het anorganische kation vormen blijkbaar een stevige
binding. Bovendien is ferrocen niet uniek: er zijn vele verwante
typen moleculen gevonden en zelfs kent men nu systemen waar zo te
zeggen de onderkant anorganisch en de bovenkant organisch is.

De chemici die dit soort verbindingen synthetiseerden, hebben met
behulp van de theoretische fysici, zoals MOFFIT en ORGEL, een nieuwe
universele taal geschapen, waardoor zij nu in staat zijn om zowel met
de organici als de anorganici te praten. Het nieuwe communicatie-
medium bezit bovendien het voordeel dat het, als de omstandigheden
dit nodig maken, bilinguïstisch kan zijn: er is een variëteit - de kristal-
veldtheorie - die pasklaar is voor een onderhoud met de anorganicus,
terwijl er ook een vorm bestaat die meer spreekt tot de organicus.
Het grote voordeel van de theorie is echter dat er ten opzichte van de
oudere varianten een enorme winst is in voorspellingskracht: de
theorie heeft bijvoorbeeld geen moeite de "sandwich-verbindingen"

te verklaren. De winst is zo belangrijk dat er zelfs gesproken wordt van een renaissance in de anorganische chemie. Zuiver statistisch beschouwd weerspiegelt zich deze wedergeboorte in een opvallende stijging van het aantal anorganische tijdschriften, conferenties en verenigingen - een stijging die significant groter is dan de toch al niet geringe groei van de chemie als geheel.

Het is een gelukkige omstandigheid dat deze vooruitgang in de theorie samen blijkt te vallen met het vinden van nieuwe experimentele methoden ter bestudering van de geadsorbeerde toestand. Ik noem het onderzoek door middel van infraroodspectroscopie, zoals voorgesteld door de Russische onderzoeker TEREININ, maar vooral tot ontwikkeling gebracht door zijn Amerikaanse collega EISSCHENS. Niet minder belangrijk is de vooruitgang in de techniek ter onderzoek van de reactiviteit van het oppervlak, namelijk door het gebruik van gemerkte moleculen. De ontwikkeling in deze richting is vooral het werk van KEMBALL BURWELL en WINTER, die gebruik maakten van niet-radioactieve isotopen met de massaspectrometer als analyse-instrument. Deze methoden hebben in ons land voornamelijk ingang gevonden in de grote industriële laboratoria en met hun hulp is het Centraal Laboratorium van de Staatsmijnen te Geleen in staat geweest zich een samenhangend beeld te vormen van de ammoniaksynthese over ijzerkatalysatoren, een beeld "built on massive evidence" om de woorden van professor H. S. TAYLOR aan te halen. Het Koninklijke/Shell Laboratorium te Amsterdam heeft er eveneens een dankbaar gebruik van gemaakt en ik zou een enkel voorbeeld van dit werk willen bespreken, omdat het volgens mij een duidelijke illustratie geeft voor een wijziging in onze benadering van het probleem katalyse. Het onderzoek is uitgevoerd door FAHRENFORT, VAN REYEN en SACHTLER met hun medewerkers; parallel aan hun werk zijn er in Japan door HIROTA overeenkomstige resultaten geboekt.

Als men mierzuur bij enigszins verhoogde temperaturen over een metaalkatalysator leidt, ontleedt de stof tot koolzuur en waterstof. De reactie is reeds lang bekend; men weet bijvoorbeeld dat de diverse metalen daarbij een tamelijk groot verschil in katalytische werking vertonen. Ter verklaring van deze verschillen had men ook al een beroep gedaan op de "electronic factor in catalysis". In grote trekken vertoont het proces de gebruikelijke kenmerken van de heterogene katalyse: men vindt bijvoorbeeld dat het mierzuur door het metaal geadsorbeerd wordt. Het gehele arsenaal van onderzoekingsmethoden

met het infraroodonderzoek voorop werd nu op deze geadsorbeerde toestand gericht. Het resultaat kwam als een anticlimax: het geadsorbeerde molecule bleek identiek aan een zeer laag-bij-de-gronds individu, het mierezuur-zout van het metaal. Bovendien bleek dat de activiteit van een katalysator kwantitatief te verklaren was uit de stabiliteit van zijn zout: hoe stabiel het zout, hoe slechter de katalysator. De oplossing van het in het begin gestelde probleem was hier dus al zeer eenvoudig: een metaal in contact gebracht met het mierezuur vormt snel een oppervlaktelaagje van het zout, dat dan weer ontleedt in metaal plus reactieproducten: het is de ontledingsreactie die de snelheid bepaalt.

Voor een h.b.s.-scholier die eindexamen moet doen, zou bovenstaande redenering precies datgene zijn wat hij uit het hem geleerde zou verwachten, doch in de wereld van de katalyse is de voorgestelde verklaring slechts schoorvoetend geaccepteerd. Vooral onder de oudere adepten van het vak is de weerzin zeer evident. De reden hiervan is duidelijk: de adsorptietoestand wordt ineens ontdaan van zijn mysterie, hetgeen gepaard blijkt te gaan met statusmoeilijkheden. De nieuwe interpretatie impliceert immers, dat wij de ontwikkelingen van de laatste veertig jaar min of meer kunnen vergeten, om terug te gaan op de zienswijze van een paar vrijwel vergeten Franse onderzoekers, SABATIER en SENDERENS, die in het begin van deze eeuw een boek over de heterogene katalyse het licht deden zien. Het hier voorgestelde mechanisme is geheel analoog aan de opvattingen die zij over dit onderwerp hadden - opvattingen die door de op hen volgende generatie oneerbiedig van de tafel geveegd werden. Voor hen bestond de adsorptie nog niet als een zelfstandig fenomeen; zij dachten alleen in intermediaire verbindingen. Er was geen enkele noodzaak om de Alpen te doen verzakken. De weg naar Rome ligt immers tussen Keulen en Parijs: men behoeft dan niet zo hoog te klimmen en is verzekerd van aangename pleisterplaatsen. Met andere woorden: katalyse is een comfortabele omweg.

Achteraf bezien zijn de voordelen van de oude zienswijze zo groot dat het bijna onbegrijpelijk lijkt dat men er indertijd zo afkerig tegenover gestaan heeft. Toch is de reden wel duidelijk: ten tijde van Sabatier en Senderens beschikte men noch over het experimentele feitenmateriaal van de metaal-organische chemie, noch over de huidige theoretische kennis. Hun gedachtengang moet dus dikwijls onvruchtbaar geweest zijn. De huidige mogelijkheden lijken echter zoveel groter dat men de toekomst met meer optimisme tegemoet kan zien.

Betekent deze vondst nu dat wij al de inzichten van de vorige generatie naar de prullemand kunnen verwijzen? Ik geloof het niet; eerder neig ik tot de mening dat de komende tijden ook hier een synthese zullen doen zien tussen de vroegere en latere wijzen van aanpak. Het mierzuur is ongetwijfeld een zeer leerzaam, maar toch wel extreem geval. De "oppervlakteverbinding" heeft hier namelijk een driedimensionaal analogon. In het algemeen zal dit niet het geval zijn - men moet eerder verwachten dat de tweedimensionale structuur a priori af moet wijken van driedimensionale systemen; zij blijft dus meer hypothetisch. Wij kunnen echter nu de structuur van hypothetische moleculen theoretisch bespreken, terwijl wij bovendien de resultaten van de discussie experimenteel kunnen toetsen.

De problemen van de katalyse zijn dan ook niet langer van het gehalte van een wetenschappelijk provincialisme: zij maken deel uit van een groter geheel zoals vooral door DOWDEN is geponoerd.

Het is nu principieel mogelijk - zij het wellicht praktisch nog wat moeilijk - om de bewijslast voor de plausibiliteit van een reactiemechanisme op de schouders te leggen van de anorganisch-chemicus. En zelfs - o wonder - komt de roosterstoring ook weer naar voren: het is immers daar dat de intermediaire verbinding zich vormen kan.

Geachte toeboorders,

In het licht van deze nieuwe zaken blijkt dus de vereniging van het onderwijs in de anorganische chemie met het onderzoek omtrent de katalyse een zinvolle gedachte. Doch er blijft een significant verschil: dat tussen de statische structuren en de dynamische beweging. Nu ligt toch de vaderlandse interesse voornamelijk bij de statische aspecten van de materie. Wij zijn in Nederland terecht trots op de massiviteit van de door ons gebouwde dijken en deze nationale voorkeur vindt men ook terug in onze belangstelling voor de wetenschap. Wat ons boeit zijn de regelmatige ordening van de vaste materie en de strikte wetten van de thermodynamica: wij zijn tenslotte een ordelijk volk dat een afkeer heeft van het riskante avontuur. Gezien het voortreffelijke werk dat hier te lande in de genoemde gebieden verricht werd, kan men hierom niet rouwig zijn. Niettemin, in dit gebouw van strenge vormen en logische compositie zou een speelser motief, een wat avontuurlijker lijn hier en daar niet misstaan, dunkt mij.

U zult mij dus hoop ik willen toestaan om mij te blijven interesseren

voor de materie in kortstondige overgangstoestanden en nog wel speciaal in een niemandsland tussen de vaste en de bewegelijke fase. Toegegeven, het tumultueuze aspect van de gebeurtenissen in deze regionen heeft veel gemeen met de wanordelijke situaties van een vrijheidsoorlog. Maar dit hebben wij nu wel geleerd van Mr. Green, de pionier, en van zijn vele soortgenoten in het industriële onderzoek dat het de moeite ruimschoots loont om het avontuur te zoeken.

Aan het einde gekomen van mijn voordracht zij het mij allereerst vergund mijn eerbiedige dank te betuigen aan *Hare Majesteit de Koningin*, die mij heeft willen benoemen tot hoogleraar aan deze Technische Hogeschool.

Mijne Heren Curatoren,

Nergens in Nederland en slechts op een enkele plaats elders in de wereld vindt men een zo grote concentratie van vooraanstaande anorganische chemici als hier in Eindhoven. Inderdaad, de meesten van hen zijn niet werkzaam aan deze Hogeschool: hun grootste dichtheid vindt men in het instituut door de volksmond versierd met de curieuze naam van Nat. Lab. Niettemin, het lijkt water naar de zee dragen om een anorganische chemicus van elders naar Eindhoven te verplaatsen: de natheid laat hier niets te wensen over. Derhalve moet U, behalve aan de anorganische chemie in dit verband aan nog andere zaken gedacht hebben.

Ik hoop dat mijn rede recht gedaan heeft aan Uw intenties en zal trachten mij Uw keuze waardig te maken.

Mijne Heren Hoogleraren

Er is mij verteld dat op de plaats waar wij nu vergaderen, vijf jaar geleden nog slechts, een min of meer idyllisch moeras te zien viel. Men moet derhalve aannemen dat U toen elders verblijf hield en als groep zelfs niet bestond. Het valt moeilijk zich deze toestand nog voor de geest te halen. In plaats van een toevallige verzameling van individuen treft men nu een zelfbewuste, krachtige Senaat aan. De erkenning van de prestaties die tot deze snelle evolutie geleid hebben, maakt dat ik des te meer op prijs stel dat U mij met zo'n grote welwillendheid in Uw midden hebt ontvangen. Uw vriendelijke woorden, geachte SCHMID zal ik niet licht vergeten.

Mijne Heren, leden van de Afdeling der Scheikundige Technologie,

Het is zeer evident dat ieder lid van Uw geacht gezelschap een treffende illustratie vormt voor de stelling dat een hoogleraar gekenmerkt wordt door zijn verzet tegen elke belemmering van zijn individuele vrijheid in de beoordeling van zijn plichten op wetenschappelijk en didactisch gebied. Tezamen levert U een nog schonere weerlegging van een tweede stelling: dat hoogleraren dientengevolge niet met elkaar kunnen samenwerken. Uw gezamenlijk beleid is in de afgelopen jaren wel zeer vruchtbaar gebleken. Ik hoop nog veel te leren van Uw vermogen om enerzijds het individu zijn gang te laten gaan, doch tevens de gemeenschap een vaste koers te laten varen.

Waarde VAN LOON. Als variatie op een bekend thema zal ik nu eens geen gewag maken van Uw voortreffelijke leiding in dit verband, doch in plaats daarvan Uw élan en beweeglijkheid in het onderzoek roemen. Onze gebieden van interesse raken elkaar op diverse plaatsen; van een samenwerking stel ik mij veel voor.

Waarde HOOGLAND, het feit dat ik een gedeelte van Uw taak mag overnemen, heeft een belangrijke en gelukkige consequentie; het zal U daardoor mogelijk worden de elektrochemie aan deze Hogeschool te doceren en een wetenschappelijk onderzoek over de problemen in dit vak te entameren. Dat ik in mijn nieuwe functie kan bouwen op de stevige grondslagen die U gelegd heeft, is voor mij van zeer groot voordeel.

Waarde STEVELS, tezamen zullen wij dan het onderwijs in de anorganische chemie verzorgen aan deze Technische Hogeschool. Onze gemeenschappelijke origine zal dit zeer vergemakkelijken. Benzijdig zal dit onderwijs niet worden: de divergentie in onze latere interesses zal dit ongetwijfeld voorkomen.

Dames en Heren medewerkers in de groep anorganische chemie,

U vormt een kleine groep, te klein eigenlijk om naar bevrediging in staat te zijn alle problemen van onderwijs en onderzoek het hoofd te bieden. Het is daarom opmerkelijk hoe ver U het gebracht hebt in Uw pogingen om deze problemen op te lossen; het mankeert U waarlijk niet aan enthousiasme. Ik reken ook in de toekomst op Uw werkkraft en geestdrift.

Dit geldt speciaal U, *waarde* WYATT, tot nog toe het constante element in een fluctuerende toestand.

Waarde VAN ARKEL, hooggeschatte leermeester,

In ons vaderland is Uw naam welhaast synoniem geworden met het wetenschappelijk onderzoek en het onderwijs in de anorganische chemie. Uw invloed blijkt zeer duurzaam: zelfs een twintigjarige immersie in de petroleum is, naar de feiten te oordelen, niet in staat gebleken de anorganische binding in mij, Uw leerling, op te lossen. Ik hoop dat ook dat andere element in Uw voorbeeld, de rusteloze, nooit aflatende inspanning voor een beter begrijpen van de feiten, een onuitwisbaar spoor nagelaten zal hebben.

Waarde DE BOER,

Ten tijde van het ontstaan van de belangstelling in de adsorptie-toestand, verscheen er van Uw hand een boek *Electron emission and adsorption phenomena*, waarin U zich de taak stelde de adsorptie te verklaren vanuit de theorieën over de chemische binding. Dat het zelfs nu - na vijf en twintig jaar - het herlezen waard is, is veelzeggend. Ik acht het een voorrecht U in de toekomst te kunnen bijstaan in Uw streven, begrip te wekken voor de katalytische problemen in de universitaire wereld.

Waarde OOSTERHOFF,

Wij kennen elkaar nu reeds een goede vijf en twintig jaar; in al die tijd heb ik niet opgehouden van U te leren. Uw onderwijs en voorbeeld heeft zeer veel bijgedragen tot de verrijking van mijn inzicht in de theoretische chemie. Doch er is een ander aspect in Uw wetenschappelijke arbeid dat voor mij al even belangrijk is en dat is het esthetische genoegen dat men er aan kan beleven. Dat het in onze tijd nog mogelijk blijkt om uiting te geven aan zijn creatieve impulsen in een stijl die qua helderheid en doorzichtigheid doet denken aan de 18de-eeuwse muziek, blijft steeds weer opnieuw een bijzondere gewaarwording.

Mijne Heren Directeuren, oud-collega's, medewerkers en vrienden van het Koninklijke | Sbell Laboratorium te Amsterdam,

Nu ik U ga toespreken voel ik mij als de man die een potloodschetsje van een schuttersmaaltijd van Frans Hals moet maken - hoe in een zo

klein bestek rekenschap te geven van de vele personen in hun forse, stoere compositie. Het heeft in dit verband geen zin meer om zelfs op de belangrijke details in te gaan: men moet zich tot het geheel beperken.

Laat ik dan volstaan met uitdrukking te geven aan mijn erkentelijkheid voor alles wat ik in de afgelopen jaren van U heb mogen onder vinden. Ik noem hier het begrip dat Uw directeuren gehad hebben voor mijn manoeuvres in het gebied van de chemie, de leiding die ik hierbij van mijn chefs gehad heb, het ontzaglijk vele dat ik geleerd heb van mijn collega's en de bewondering die ik overgehouden heb voor de experimenteerkunst van mijn medewerkers. De gelegenheid om met Uw wetenschappelijke medewerkers in debat te blijven zal voor mij een grote stimulan zijn en tevens een aanleiding tot het cultiveren van een gepaste bescheidenheid.

Waarde VAN REYEN, dat ik U, als enige uitzondering temidden van alle Shell-vrienden, ga toespreken, heeft een bijzondere oorzaak: tenslotte zijn wij min of meer tot een Siamese tweeling geworden in ons wetenschappelijk onderzoek.

In de jaren van onze samenwerking is er veel gebeurd in de katalyse en sommige van de zaken die wij gezamenlijk gepubliceerd hebben, zouden wij heden ten dage anders geschreven of wellicht geheel stil gehouden hebben. Dat het er niet veel meer zijn, is te danken aan Uw kritische zin en Uw insistentie op een „zindelijk” stuk werk. De herinnering hieraan zal ik zorgvuldig bewaren.

Dames en Heren Studenten.

De praktijk van de ambtsaanvaarding van een hoogleraar leidt er gewoonlijk toe, dat er een kortere of langere tijdsinterval ontstaat tussen het begin van zijn colleges en het uitspreken van zijn rede. Hierin zit iets goeds; het veroorlooft U om een gezonde dosis scepsis op te doen, alvorens geconfronteerd te worden met de min of meer hooggestemde retoriek van genoemde rede.

De traditie wil verder dat de laatste woorden hiervan speciaal tot U gericht zijn. Dit heeft een diepere zin, want men wordt er door in staat gesteld de blik naar de toekomst te richten.

Alles tezamen genomen schuilt er dus ook nog wel enig nut in het instituut. Doch zijn voornaamste waarde zal het moeten ontlenen aan

een uitspraak die U een houvast geeft voor wat men van U gaat verwachten.

Veroorloof mij op dit moment de heer Green weer tot leven te brengen onder het voorwendsel dat U figuurlijk gesproken zijn voetstappen zult moeten drukken. Evenals hij zult U allen een schepende taak krijgen, de één van kleiner, de ander van groter formaat. U zult daarbij uit moeten gaan van de kennis door Uw voorgangers verzameld en het zal daarbij mijn taak zijn de informatie zo modern mogelijk te houden, zodat U beter beslagen ten ijs komt dan onze hoefsmidgeneraal. Al doende zal ik mij dan zorgen gaan maken over de toewijding waarmede U zich aan de studie heeft overgegeven en het valt dus te verwachten dat ik U het leven op passende wijze lastig zal maken door een regelmatig onderzoek naar Uw vorderingen. Uiteindelijk is dat alles maar van bijkomstige aard: waar het om gaat is de ondersteuning van Uw creatief vermogen. U zult ongetwijfeld gewaar worden dat het voor scheppend werk noodzakelijk is om een kleiner of groter gedeelte van de U toegediende kennis in de prullemand te deponeren. Laat ik U de verzekering geven van mijn volle sympathie en medewerking in dit selectieproces. Ik hoop dat U hierin volledig zult slagen.

Ik heb gezegd.