

Werken aan scheikunde

*24 memoires van hen die de
Nederlandse Chemie
deze eeuw groot hebben gemaakt*

Uitgegeven door Delftse Universitaire Pers in 1993.
(Copyright 1993 by Delft University Pers).

Met toestemming van IOS Press, Amsterdam
op de KNCV/CHG website geplaatst.

Hoofdstuk

Herinneringen van C. Boelhouwer
Chemische Technologie van Delft naar Amsterdam
(Oorspronkelijke pagina's: 353-375)

Chemische Technologie van Delft naar Amsterdam

Herinneringen van C. Boelhouwer



16 januari 1923 geboren te Heemstede
1929-1935 lager onderwijs te Magelang en Semarang (Java)
1935-1940 Christelijk Lyceum (HBS B) Haarlem
1940-1948 studie Scheikundige Technologie Technische Hogeschool Delft
1948 diploma Scheikundig Ingenieur (met lof)
1947-1959 medewerker Prof.dr.ir. H.I. Waterman te Delft
1959 medewerker Prof.dr.ir. J.C. Vlugter
1952 promotie tot doctor in de Technische Wetenschap
1960-1963 research-coördinator, later tevens plaatsvervangend directeur, van het Technologisch Laboratorium der Rijksverdedigingsorganisatie TNO Rijswijk
1962-1963 buitengewoon hoogleraar Chemisch Technologie Universiteit van Amsterdam
1963-1985 gewoon hoogleraar, idem
1969-1971 voorzitter Subfaculteit Scheikunde
1976-1980 voorzitter Interfacultaire Vakgroep Milieukunde
1985-1987 gastdocent Biotechnologie Universiteit van Amsterdam

Werkterrein: Amsterdamse proceskunde

1. Opleiding en groei

1. Jeugd

Als er al ervaringen zijn uit mijn vroege jeugd, die - aanvankelijk misschien geheel onbewust - van invloed geweest zouden kunnen zijn op mijn latere studiekeuze, dan zijn het wellicht vooral de indrukken van het vulkanisch geweld van de uitbarsting van de *Merapi* (1930) [1], herinneringen die zelfs in deze tijd nog zo nu en dan bovenkomen. Impressies van verwoesting en dood, gevolgen van een ongekende confrontatie van de nabije omgeving met de oer-elementen *vuur, water, aarde en lucht* in de vorm van gloeiende lavastromen, hevige bandjirs, grote aardverschuivingen en dichte asregens. Iets van de beperktheid van de mens in zijn strijd tegen de totaliteit van de krachten van deze oerelementen is mij altijd bij gebleven; iets ook van de wijze, waarop de bewoners van het getroffen gebied de vernietigende werking van die mystieke krachten ervoeren, in een mengeling van berusting en verzet, van fatalisme en hoop, van verslagenheid en nieuw elan.

In datzelfde jaar (1930) leidde het ontsteken van primitief vuurwerk, zelf vervaardigd uit kruitaftallen afkomstig van niet-ontbrande zevenklappers, vuurpijlen, donderbussen en andere produkten van de pyrotechniek, die tijdens de viering van het Chinese Nieuwjaar op enorme schaal werden gebruikt, tot een ongeval dat mijn jongere broer vrij ernstig verwondde. Dit kan natuurlijk niet gezien worden als een serieuze poging mijnerzijds tot het nuttig hergebruiken van chemische afvalstoffen, maar zou misschien wel enigszins mijn belangstelling kunnen verklaren voor het werk op het gebied van brand- en explosiegevaarlijke stoffen op het Technologisch Laboratorium van de Rijksverdedigingsorganisatie TNO, waaraan ik later enige jaren verbonden zou zijn.

2. Middelbaar onderwijs

De oerdegelijke saaiheid van het middelbaar chemie-onderricht dat ik te genieten kreeg - volledig gericht als het was op het behalen van een zo hoog mogelijke score van alle leerlingen op de eindexamens - vormde een groot contrast met mijn drang tot experimenteren, maar legde wel de basis voor een grondige kennis van de systematiek van de scheikunde en van de wetten die de uitvoerbaarheid en de beheersbaarheid van chemische processen bepalen.

Heel bijzonder - zeker in die tijd - waren de lessen *Nederlands*, die voor een belangrijk deel gewijd werden aan een deskundige training in het houden van korte voordrachten, ook over vrije onderwerpen. Die voordrachten boden ons de mogelijkheid, onervaren als we waren, toch al iets van onze persoonlijke ambities en interesses tot uitdrukking te brengen. Pas veel later zouden we de betekenis ervan ten volle leren beseffen en waarderen.

3. Studie

De studiejaren aan de TH te Delft (1940 - 1948) werden in hoge mate overschaduwd door de oorlogsgebeurtenissen. Al in november 1940 volgde het ontslag van de Joodse hoogleraren, en - als gevolg van de protesten daartegen - de tijdelijke sluiting van de TH. In het voorjaar van 1943 maakten verdere ingrijpende eisen van de bezettende macht - de beruchte loyaliteitsverklaring - verder studeren geheel onmogelijk.

Heel goed herinner ik mij nog een lezing van Professor Waterman voor het Technologisch Gezelschap in het najaar van 1940 - waarschijnlijk de laatste die hij vóór zijn gedwongen ontslag heeft gehouden - over de toepassingsmogelijkheden van grafisch-statistische methoden voor de analyse van aardolie-fracties. Toen al kwam ik onder de indruk van zijn persoon en zijn werk, een indruk, die versterkt werd door de moed en de persoonlijke inzet waarmee hij, direct na de bevrijding, het leeggeroofde laboratorium nieuw leven inblies, de wijze waarop hij inspeelde op tal van nieuwe ontwikkelingen die gedurende de oorlogsjaren - met name in de Verenigde Staten - tot stand waren gekomen, de verbreding van het vakgebied die hij tot stand bracht door introductie van nieuwe leerstoelen: de fysische technologie (Heertjes, Kramers) en de chemische apparatenbouw (Boon), en de wegen die hij aldus wees om de goede naam van de Delftse scheikundig ingenieurs ook in de komende jaren van wederopbouw en renovatie te kunnen handhaven.

Karakteristieke voorbeelden: het aanboren van nieuwe terreinen van onderzoek, zoals de bereiding en de eigenschappen van poly-ethyleen (volgens Ziegler en volgens Phillips), de opening van een siliconenlaboratorium in het nieuwe laboratorium aan de Julianalaan, de inrichting van proeffabrieken voor de continue hogedruk hydrogenering en ontwaveling van aardolie-fracties (mogelijk gemaakt door belangrijke financiële steun van industriële zijde), de studie van chemische reacties onder invloed van elektrische ontladingen en van γ -straling (hiervoor werd een ^{60}Co -stralingsbron geïnstalleerd), de suikerfabricage op semi-industriële schaal volgens een nieuw procedé: de 'koude' diffusie (waarvoor tijdens de 'campagne' teams van studenten in ploegendienst - dag en nacht - moesten worden ingezet), het gebruik van produkten uit de levende natuur als grondstoffen voor de chemische industrie: suiker (sucrochemicals), vette oliën (oleochemicals).

Veel vergde Waterman daarbij van zijn jonge promovendi (fig. 1), die zich - vaak ten koste van grote persoonlijke inspanningen - moesten inwerken op deze zo uiteenlopende terreinen van onderzoek, en daarbij baanbrekend - grensverleggend - werk moesten verrichten bij het installeren en in bedrijf stellen van nieuwe apparatuur en bij het ontwikkelen en beproeven van nieuwe methoden van onderzoek: moleculaire destillatie (door filmverdamping bij ultra-hoog vacuüm), gas-vloeistof chromatografie, spectroscopische technieken, enz. Maar zij wisten zich geruggesteund door zijn nooit aflatende bemoediging, zijn brede inzicht, zijn intensieve contacten met universiteiten en industrieën in binnen- en buitenland, en zijn warme persoonlijke belangstelling. Het was een eer en een voorrecht, als assistent op zijn laboratorium te mogen werken (fig. 2).



Fig. 1. Laboratorium voor Chemische Technologie van de TH Delft. Petroleum-zaal 1949. Van links naar rechts G.M.M. Houben, C. Boelhouwer, J. van Steenis.



Fig. 2. Prof. Waterman temidden van een aantal medewerkers op de Petroleumzaal van het laboratorium voor Chemisch Technologie te Delft (1951).



Fig. 3. Prof.dr.ir. H.I. Waterman in zijn werkkamer op het laboratorium voor Chemische Technologie te Delft 1952.

De grootste kracht van Waterman's persoonlijkheid (fig. 3) was wel zijn vermogen tot *improvisatie, integratie en coördinatie*.

Wat het eerste betreft herinner ik mij kleine, maar typerende voorbeelden uit de periode direkt na de oorlog. Bij gebrek aan vacuümpompen werd in een aantal gevallen gebruik gemaakt van glazen adsorptievaten met actieve kool, gekoeld met vloeibare lucht, die in containers per trein uit Schiedam werd aangevoerd; in feite een gevaarlijke methode omdat bij glasbreuk direkt contact van het adsorbens met de luchtzuurstof tot explosie kon leiden. Het tekort aan kleine elektromotoren voor het aandrijven van roeders leidde tot het opnieuw in gebruik nemen van oude, gasgestookte hete-lucht motoren, die nog op de zolders van het Westvest-complex opgeslagen waren. Dankzij de inventiviteit van werkplaatsen en glasblazerij kon heel veel in eigen beheer worden ontworpen en geconstrueerd, en kon ook aan de veiligheid - die bij Waterman de hoogste prioriteit had - alle aandacht worden besteed.

Integratie en coördinatie van kennis en ervaring uit verschillende vakgebieden: als geen ander streefde Waterman er naar, als essentiële voorwaarden voor een optimale groei en ontwikkeling van het eigen werkterrein. Hij doorzag heel snel en over een breed gebied van wetenschap en techniek de mogelijkheden van nieuwe ontwikkelingen door combinatie van kennis en know-how uit verschillende disciplines. Wat hem daarbij vooral voor ogen stond was een goede wisselwerking tussen *fundamenteel* en *toegepast* wetenschappelijk onderzoek: de mate, waarin *theorie* en *empirie* - in onderlinge afhankelijkheid - op elkaar teruggrijpen en elkaar stimuleren, is bepalend voor de voortgang van beide. Daarom kende Waterman, zo uiterst praktisch als zijn instelling was,

en zo direkt gericht op ‘resultaten’, een grote waarde toe aan elementair fundamenteel inzicht in de chemische processen die hij bestudeerde. Vandaar ook zijn intensieve contacten met de grote industriële research-instituten; in sterke mate bevorderde Waterman deze contacten, onder meer door prominente medewerkers uit die instituten als buitengewoon hoogleraar aan de TH te verbinden: Prof.dr. J.H. de Boer, als grondlegger van de ‘Dutch School of Catalysis’, Prof.dr. D.W. van Krevelen, die de basis legde voor het moderne steenkool-onderzoek, Prof.ir. J.G. Hoogland, stimulator van de elektrochemische proceskunde.

Ook in verenigingsverband streefde Waterman naar samenwerking en integratie. Hij stimuleerde de oprichting van de Afdeling voor Chemische Techniek van het Koninklijke Instituut van Ingenieurs, die vanaf het begin volledig samenwerkte met de Sectie voor Chemische Technologie van de Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging.

Op Europees niveau hebben Afdeling en Sectie een belangrijke rol vervuld bij de oprichting van de ‘European Federation of Chemical Engineering’ en de binnen deze Federatie opererende ‘Working Party’ voor ‘Chemical Reaction Engineering’ (de naam is een vondst van Van Krevelen [2]), waardoor ons land zich op het gebied van de reactorkunde een leidende positie veroverde. Van grote invloed bij deze ontwikkelingen is het werk geweest van Prof.dr.ir. J.C. Vlugter, de feitelijke oprichter en eerste voorzitter van de Afdeling voor Chemische Techniek en gedurende vele jaren lid van de ‘Supervisory Board’ van de Europese Federatie.

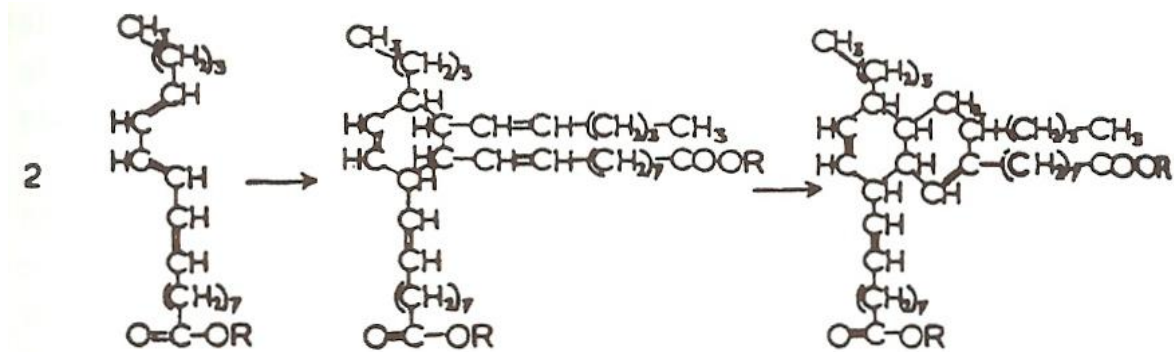
Afdeling en Sectie vormen momenteel met de procestechnologen van de Nederlandse Ingenieursvereniging NIRIA het NPT, het samenwerkings-verband van Nederlandse procestechnologen.

Het zal duidelijk zijn dat ook mijn eigen afstudeer- en promotieonderzoek sterk werd beïnvloed door de brede visie van mijn promotor. Dit onderzoek betrof de polymerisatie van drogende oliën, een onderwerp waarmee Waterman zich al vóór de oorlog internationale bekendheid had verworven door zijn vinding dat zwaveldioxyde deze polymerisatie aanzienlijk versnelt [3].

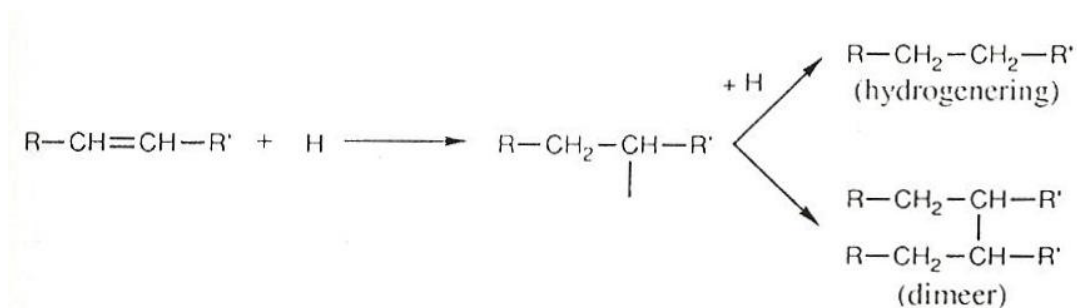
Zwaveldioxyde, tegenwoordig een van de belangrijkste vervuilers van ons milieu, toen door Waterman aangeduid als ‘de vriend van ons laboratorium’, omdat SO_2 niet alleen een actieve katalysator bleek bij meerdere op zijn laboratorium bestudeerde processen [4], maar ook een essentiële hulpstof bij de koude diffusie van suikerbieten.

Enerzijds moest worden nagegaan of het mogelijk was, de katalytische polymerisatie van lijnolie tot ‘standolie’ continu uit te voeren; hierbij kwamen vooral reactorkundige problemen aan de orde in verband met het exotherme karakter van het proces, de menging van olie en katalysator en de materiaalkeuze. Anderzijds stond het mechanisme van de reactie centraal: *ringanalyse* van koolwaterstofmengsels, verkregen door hydrogenering van gepolymeriseerde lijnolie-vetzuren zou de geldigheid moeten aantonen van het reeds in 1933 door Kappelmeier [5] gepostuleerde reactieverloop volgens hetwelk

geconjugeerde linolzure en linoleenzure esters zich door een Diels-Alder reactie in *cyclische* verbindingen omzetten:

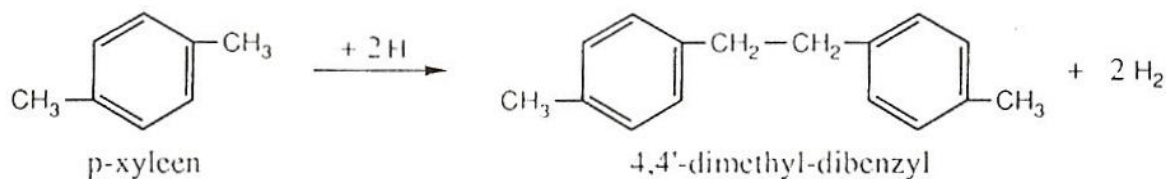


Als vergelijkingsmateriaal zouden produkten dienen, verkregen door polymerisatie van lijnolie met behulp van *atomaire waterstof*, waarbij - door recombinitie van primair door reactie met waterstofatomen gevormde radicalen - *niet-cyclische* polymeren ontstaan; bijvoorbeeld:



Atomaire waterstof kan op eenvoudige wijze door blootstelling van moleculaire waterstof aan elektrische ontladingen worden verkregen [6]. Het onderzoek naar de eigenschappen en effecten van waterstofatomen trok in de na-oorlogse jaren, toen de belangstelling van chemici zich sterk richtte op fysische en chemische verschijnselen op moleculaire schaal (katalyse en adsorptie, gedragingen van individuele atomen, moleculen en ionen), veel belangstelling. Professor De Boer wijdde in de cursus 1952 - 1953 op de hem eigen, imponerende wijze, zijn college Katalyse voor een groot deel aan de reactie $H + H \rightarrow H_2$ en de dominerende rol van vaste en vloeibare oppervlakken daarbij.

De resultaten van het onderzoek bevestigden onze verwachtingen [7]. De experimenten met atomaire waterstof leidden bovendien tot meer uitgebreid onderzoek naar de reactiviteit van vette oliën en koolwaterstoffen onder invloed van gasontladingen, dat enkele interessante synthetische mogelijkheden opleverde, zoals de omzetting van o-, m- en p-xyleen in de corresponderende dimethyl-dibenzyl derivaten [8], bijvoorbeeld:



Na mijn promotie richtte mijn onderzoek zich op verdere toepassingen van de *grafisch-statistische structuuranalyse*, onder meer van gepolymeriseerde koolwaterstoffen, gestyreniseerde vette oliën, novolakken, enz. Daarbij speelde ook de bepaling van de vertakkingsgraad van deze produkten een belangrijke rol. Naast de brekingsindex, de dichtheid en het gemiddeld molecuulgewicht (waaraan de welbekende n-d-M-methode [9] haar naam ontleende) werden andere fysische eigenschappen, zoals de kinematische viscositeit en de geluidssnelheid, bij het onderzoek betrokken en werd de methodiek beter onderbouwd, doordat gebruik kon worden gemaakt van de fysische constanten van reeksen van zuivere koolwaterstoffen, die - met name door het werk van het A.I.P. (American Institute of Petroleum) [10] - beschikbaar kwamen.

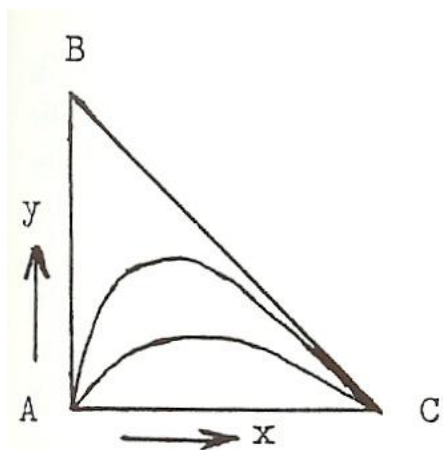
Verder werd ruime aandacht besteed aan omzettingen van vette oliën:

- selectiviteitsproblemen bij het hydrogeneren (harden) van eetbare oliën,
- de elaidinering (harden zonder waterstof, berustend op cis-trans omlegging van oliezure esters),
- selectiviteitproblemen bij de hogedruk hydrogenering van oliezuur tot oleylalcohol,
- de transesterificatie van glyceriden,
- polymerisatie- en co-polymerisatiereacties van drogende oliën.

Deze experimenten dienden tevens voor het toetsen van de geldigheid van een door Waterman en Weber gegeven empirische vergelijking [11] voor het beschrijven van het verloop van chemische reacties:

$$y = \frac{x(1-x)}{a+bx}$$

Volgens deze vergelijking wordt het verloop van de omzetting van een grondstof A in een gewenst produkt B en de bijprodukten C heel algemeen weergegeven door hyperbolen (zie de figuur); x en y stellen de molfracties (of gewichtsfracties) van B en C voor, a en b zijn constanten die bepaald worden door de gekozen reactie-condities. Het is verrassend dat tal van chemische processen - hoe ingewikkeld de kinetiek ervan ook moge zijn - op deze wijze kunnen worden weergegeven; het getuigt van de brede visie van Waterman en zijn medewerkers, dat zij, op deze geheel empirische - en daarom van wetenschappelijke zijde sterk bekritiseerde - wijze vorm hebben kunnen geven aan een universele karakteriseringsmethodiek voor chemische (en ook voor een aantal fysische) processen.



In de laatste jaren van Waterman's hoogleraarschap, en ook nog na zijn emeritaat (1959), als medewerker van zijn opvolger, Prof.dr.ir. J.C. Vlugter, werd ik bovendien nauw betrokken bij het tot stand komen van enkele boeken [12], waarin belangrijke facetten van het werk op het Laboratorium voor Chemische Technologie systematisch werden samengevat.

2. Intermezzo: In de verdediging

In 1960 aanvaardde ik een benoeming als research-coördinator op het Technologisch Laboratorium van de Rijksverdedigingsorganisatie TNO. Deze functie was daarom zo aantrekkelijk, omdat zij de introductie beoogde van wetenschappelijke methoden van onderzoek in een instituut, dat zich grote faam had verworven door zijn unieke, praktische kennis en ervaring op het gebied van de bereiding en het hanteren en toepassen van brand- en explosiegevaarlijke stoffen, maar nog slechts een aarzelend begin had gemaakt met de wetenschappelijke onderbouwing van die kennis. Zo werd mij een unieke gelegenheid geboden de inzichten, die ik gedurende mijn 13-jarig medewerkerschap aan de TH had opgedaan, in de praktijk te brengen; daarom is die functie, al heb ik haar maar kort bekleed, voor mijn verdere ontwikkeling als technoloog van grote betekenis geweest.

Zij confronteerde mij, ook in de contacten met de defensie-laboratoria van de NAVO-partners, met de wereldwijde spanningen van oorlog en vrede, van wapengeweld en de beschermingsmogelijkheden daartegen. Zij leerde mij de zin en de betekenis te verstaan van zorgvuldige defensie-research als onontkoombaar en doeltreffend middel ter bevordering van vrede en veiligheid in de wereld, en vooral ook de noodzaak om dat onderzoek in de pas te laten lopen met de snelle ontwikkelingen op het gebied van de technologie in de ruimste zin.

Belangrijk uitgangspunt van het TNO-beleid is daarbij altijd geweest dat de resultaten van het defensie-onderzoek - waar mogelijk - beschikbaar moesten komen voor de Nederlandse samenleving, en dat er ook om die reden een nauwe samenwerking gewenst was met de technisch-wetenschappelijke centra van universiteiten en hogescholen, en met

het bedrijfsleven [13].

Twee voorbeelden mogen dit verduidelijken:

- de problematiek van de vervaardiging, de opslag en het gebruik van explosieve materialen is niet alleen van primair militair belang, maar heeft ook grote maatschappelijke betekenis waar het er om gaat de samenleving te beveiligen tegen de risico's van explosie- en brandgevaar van industriële processen en de gevolgen van onvoorziene bedrijfsongevallen.
- de bescherming van militairen en burgerbevolking tegen chemische strijdmiddelen vergt kennis van en inzicht in de wijze waarop deze middelen worden toegepast en hoe zij zich onder invloed van de heersende atmosferische omstandigheden verspreiden. Identieke verschijnselen spelen een rol bij de uitstoot en de verspreiding van milieu-bedreigende stoffen uit de schoorstenen van industriële installaties.

Wat betreft de explosie-gevaarlijke stoffen is het vooral aan de inzet van dr. E.W. Lindeijer (van 1962 tot 1976 directeur van het TL) te danken geweest dat het inzicht in verschijnselen als explosie, deflagratie en detonatie sterk is verbeterd. De verslagen van het in 1963 door de Sectie voor Chemische Technologie van de KNCV en de Afdeling voor Chemische Techniek van het KIVI georganiseerde symposium over 'Explosie- en brandgevaar bij industriële processen' [14] gelden nog steeds als een waardevolle introductie in deze problematiek.

De toenemende behoefte aan internationale uitwisseling van ervaring en know-how leidde in 1974 tot het - eveneens door KIVI en KNCV georganiseerde - 1st International Symposium on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries', en tot de oprichting van de 'Working Party on Loss Prevention' van de European Federation of Chemical Engineering, waardoor Nederland op dit belangrijke gebied van veiligheidsonderzoek en risico-analyse een vooraanstaande plaats is gaan innemen. In toenemende openheid worden op de door deze werkgroep georganiseerde bijeenkomsten ervaringen uitgewisseld, niet alleen over concrete bedrijfsongevallen, maar ook over 'near misses', waaraan evenzeer waardevolle gegevens kunnen worden ontleend voor bescherming en preventie.

Het Technologisch Laboratorium heeft ook altijd een belangrijke bemiddelende rol gespeeld tussen overheid en bedrijfsleven bij het vaststellen van realistische en evenwichtige veiligheidsnormen, die enerzijds recht doen aan de zorgvuldigheid waarmee veiligheidsdeskundigen van de bedrijven zich verdiepen in de problematiek van de gevaren-identificatie en de analyse van de risico's die hun vaak zeer complexe proces-apparatuur inhoudt, en anderzijds de beleidsvoorbereidende overheidsinstanties - met name ook het Directoraat-Generaal van de Arbeid - voldoende zekerheid bieden met betrekking tot de aanvaardbaarheid van die risico's voor de samenleving.

Als voorbeeld van het in de zestiger jaren in het TL opgezette onderzoek noem ik de stabiliteitsproblematiek van min-stabiele stoffen, zoals rookzwak buskruit. Met behulp van uiterst gevoelige warmtestroommeters bleek het mogelijk, het exotherme

ontledingsproces - de veroudering - van deze stoffen bij opslag-condities (60°C en lager; 60°C is de temperatuur waarbij volgens NATO-specificaties bepaalde soorten rookzwak buskruit nog veilig moeten kunnen worden opgeslagen) nauwkeurig te vervolgen; de gevoeligheid van de methodiek is van de orde van enkele mWatt per kg. Gevaar van zelfontbranding is reëel wanneer de snelheid van warmteontwikkeling van het opgeslagen materiaal groter is dan de snelheid waarmee deze warmte door geleiding of convectie kan worden afgevoerd; een en ander hangt dus samen met de afmetingen van het opgeslagen materiaal, de warmtegeleidingscoëfficiënt en de omgevingstemperatuur. Het is daarom mogelijk, een 'kritische afmeting' aan te geven van de verpakking waarin het materiaal bij een bepaalde temperatuur veilig kan worden opgeslagen, dan wel een 'kritische temperatuur' aan te geven, waar beneden materiaal in een bepaalde verpakking nog veilig kan worden bewaard; zo vond Van Geel [15] voor een bepaald soort rookzwak buskruit dat het, in gevulde cilindrische containers, bij 60°C veilig kan worden opgeslagen wanneer de cylinderdiameter kleiner is dan 80 cm.; de warmteproductie van dit kruit - als gevolg van het verouderingsproces - bedroeg minder dan 5 Watt/m³. Ook voor het kinetisch onderzoek van andere chemische processen is de warmtestroommeter een nuttig hulpmiddel gebleken, met name wanneer de warmte-effecten gering zijn; in het algemeen dus bij lage temperaturen.

De samenwerking van het Technologisch Laboratorium met het in hetzelfde Prins Maurits-complex ondergebrachte Chemisch Laboratorium van de RVO-TNO, lag aanvankelijk hoofdzakelijk op het terrein van de gasbescherming (gasmaskers, beschermende kleding), maar breidde zich geleidelijk verder uit totdat in 1978 een volledige fusie tot stand kwam: een zinvolle integratie van het technologisch en het fundamenteel wetenschappelijke potentieel van de beide laboratoria, die ook de wisselwerking met de civiele sector zeer ten goede is gekomen en de 'ontmythologisering' van het defensie-onderzoek in gunstige zin heeft beïnvloed [16].

3. Naar een Nieuw Amsterdams Peil: proceskunde aan de Amsterdamse Universiteit

1. Voorspel: het baccalaureaat

Al in 1953 werd door de Faculteit der Wiskunde en Natuurwetenschappen van de (toenmaals) Gemeentelijke Universiteit van Amsterdam een commissie benoemd ter voorbereiding van een vierjarige, op de praktijk gerichte academische baccalaureaatsopleiding voor Natuurkunde en Scheikunde. Nog in hetzelfde jaar bracht deze commissie haar rapport uit, dat, na uitgebreide gedachtenwisseling met tal van instanties, tenslotte resulteerde in een eindrapport, dat op 4 juli 1956 door de Gemeenteraad van Amsterdam werd aanvaard, en - na goedkeuring door de Minister van Onderwijs, Kunsten en Wetenschappen - op 18 december 1956 door H.M. de Koningin bekrachtigd.



Fig. 4. Het Laboratorium voor Chemische Technologie van de Universiteit van Amsterdam aan de Plantage Muidergracht. Links de voormalige Boekmanschool, rechts de voormalige Burgerschool. Het gehele complex begin 1985 gesloopt.

De subfaculteit Wis- en Natuurkunde heeft de plannen nimmer verder geconcretiseerd (fig. 4). De Subfaculteit Scheikunde deed dit wèl, maar het duurde tot 1 januari 1962 vóór ik - voorlopig voor 1 dag per week - tot buitengewoon hoogleraar in de Chemische Technologie werd benoemd. Dit vakgebied zou de kern vormen van de nieuwe studierichting, die beoogde tegemoet te komen aan de behoefte van het bedrijfsleven aan academici met een korte, op de industriële praktijk gerichte opleiding.

Kernvakken zouden zijn chemische en fysische technologie, waarvoor een ordinariaat en een extra-ordinariaat werden ingesteld. Als bijvakken werden aangewezen de toegepaste wiskunde, de materiaalkunde en de meet- en regeltechniek, waarvoor lectoren zouden worden benoemd. Heel belangrijk was de in het programma ingebouwde mogelijkheid om na het vier-jarig baccalaureaat alsnog - door een aanvullend studiepakket van één jaar - een doctoralexamen in de scheikunde (met als hoofdvak chemische of fysische technologie) te kunnen afleggen. Ik meen te mogen vaststellen, dat, wanneer wij deze mogelijkheid destijds niet uitdrukkelijk hadden bedongen, de technologie aan de Amsterdamse universiteit - met het baccalaureaat - een zachte dood zou zijn gestorven.

Uiteindelijk hebben slechts acht studenten in Amsterdam het baccalaureaatsexamen in de scheikunde afgelegd, waarvan er twee daarna alsnog hun doctoraal deden. Pessimisten stellen daarom dat het baccalaureaat is mislukt. Optimisten menen daarentegen dat de

kerngedachte van de baccalaureaatsopleiding - zoals deze ook aan de TH Twente, bij de oprichting in 1961, voor alle afdelingen integraal was ingevoerd - zoveel positieve elementen bevatte, dat zij in hoge mate de invoering van een vierjarig curriculum - voor *alle* studierichtingen aan *alle* Nederlandse universiteiten en hogescholen - heeft gestimuleerd, overigens niet dan nadat men het er wel over eens was geworden dat de specifiek Nederlandse titel *doctorandus* ook voor de in vier jaar opgeleiden zou moeten gelden. Daardoor liet men een unieke mogelijkheid voorbijgaan om ons met betrekking tot de academische titulatuur aan te sluiten bij wat in andere landen - met name de Angelsaksische - gebruikelijk is; zoals Den Boef [17] onlangs nog eens stelde zou de vierjarige universitaire opleiding tot het predicaat *Baccalaureus* (fig. 5) hebben kunnen voeren, terwijl zij, die deze opleiding met zeer goed gevolg zouden hebben voltooid, dan in twee jaar naar het *Masters*-niveau zouden hebben moeten kunnen doorstromen. Momenteel blijven onze tweejarige AIO's van een passende academische titel verstoken, terwijl 'de huidige zogenoemde 'kale' doctorandus onvoldoende toegerust is voor het vervullen van functies in onderzoek en ontwikkeling' [17]. Blijkbaar blijven we als Nederlanders toch maar al te graag, om met een bekend conferencier te spreken, een volkje van 'boeren, burgers en doctorandussen'.



Fig. 5. Uitreiking van het eerste Baccalaureaatsdiploma Scheikunde aan L.A. van der Heijden; Amsterdam, 5 juli 1967. Achter de tafel van links naar rechts Dr. H. van Rossem, dr. J. van der Elsen, Prof.dr. J.A.A. Ketelaar, Prof.dr. A. Punt (voorzitter faculteit Wis- en Natuurkunde), Prof.dr.ir. C. Boelhouwer, Prof.dr. H. Gerding (voorzitter Subfaculteit Scheikunde), Prof.ir. M. Tels.

2. Introductie van chemische en fysische technologie

In 1967 werd Prof.ir. M. Tels tot buitengewoon hoogleraar in de fysische technologie benoemd en zo zouden chemische *en* fysische technologie zich binnen de Subfaculteit tot volwaardige hoofdvakken kunnen ontwikkelen. Voor de fysische technologie bleek dit echter een moeizaam proces. Toen in 1976 door het vertrek van Prof. Tels naar de TH Eindhoven diens opvolging aan de orde kwam, werd de continuering van de leerstoel ter discussie gesteld. Reeksen van structuurrapporten moesten er het subfaculteitsbestuur in langdurige discussies van overtuigen, dat de fysische technologie een integrerend hoofdbestanddeel is van het wetenschapsgebied dat men in de Engelse taal zo fraai als 'chemical reaction engineering' kan karakteriseren, maar waarvan de Nederlandse omschrijving 'chemische (proces)technologie' of 'chemische proceskunde' toch enigermate onvolledig en gebrekkig is. 'Zelfs het woord 'chemie' komt niet in de naam van het vakgebied voor', dat was één van de argumenten, die tegen het bestaansrecht van de fysische technologie als hoofdvak binnen de scheikunde werden aangevoerd. Op zichzelf niet eens zo vreemd in het licht van de opeenvolgende bezuinigingsronden van die tijd: ook de bestaansgrond van de microbiologie binnen de Subfaculteit Scheikunde stond ter discussie en bijna is deze vakgroep toen aan de Subfaculteit Biologie toegeschoven.

Twee zaken hebben tenslotte geleid tot volledige erkenning van de fysische technologie:

- een handtekeningenactie van alle Nederlandse proces-technologen, waarlijk een uniek gebeuren!,
- de positieve steun van de studentenfractie in de subfaculteitsraad.

Daardoor kon de benoeming van Prof.dr.ir. J.M.H. Fortuin in 1977 doorgang vinden. Achteraf bezien kunnen we voor deze positieve ontwikkeling niet dankbaar genoeg zijn. Hoe zou er immers, wanneer onze subfaculteit had vastgehouden aan de enge begrenzing van het begrip 'chemie', ooit sprake hebben kunnen zijn van de recente vestiging van een Biotechnologisch Centrum in Amsterdam, waarin de Vrije Universiteit en de Universiteit van Amsterdam participeren en waarin met name onze subfaculteit een uiterst belangrijke rol vervult juist door de activiteiten van de indertijd zo omstreden vakgroepen Chemische Technologie en Microbiologie?

Het is met name deze integrerende functie van de procestecnologie, die onze subfaculteit (tegenwoordig Faculteit) Scheikunde nieuwe impulsen heeft gegeven door een brug te slaan tussen de fundamentele en de toegepaste aspecten van de chemie en een eind te maken aan de verouderde - en in het buitenland reeds lang achterhaalde - controverse tussen 'zuiver' en 'toegepast' wetenschappelijk onderzoek, tussen theorie en empirie, tussen 'scheppend denken en schouwend doen'.

Wat betreft de *lectoraten*: materiaalkunde en meet- en regeltechniek zijn, afgezien van een aantal gastcolleges in deze vakgebieden, nooit geconcretiseerd; de baccalaureaatstudenten konden daarvoor terecht in Delft, respectievelijk in Eindhoven. Uiteindelijk zijn deze leerstoelen 'ingeleverd' bij de verschillende bezuinigingsronden in de zeventiger en

tachtiger jaren; op deze wijze hebben ze als plezierige ‘reservepot’ toch voor de subfaculteit een nuttige functie gehad.

De toegepaste wiskunde ontwikkelde zich onder de bezielende leiding van Dr. H. van Rossum tot een sterk en dynamisch Instituut voor Propedeutische Wiskunde, waar niet alleen de vakgroep Chemische Technologie veel profijt van had, maar de gehele Faculteit der Wiskunde en Natuurwetenschappen.

3. Integratie

a. De middelen

In 1963 werd een begin gemaakt met de verbouwing en inrichting van twee oude schoolgebouwen aan de Plantage Muidergracht. Omdat deze scholen niet op hetzelfde tijdstip beschikbaar kwamen, werd deze verbouwing in een aantal fasen uitgevoerd:

- in april 1965 kwam de verbouwde Boekmanschool ter beschikking, en kort daarna, op het speelterrein, een hogedruk-laboratorium,
- in september 1966 de Burgerschool, met - op de speelplaats - een experimenteerruimte voor kleinschalige hogedruk-opstellingen,
- na de komst van Prof. Tels (maart 1967) werd ook een begin gemaakt met de inrichting van het laboratorium van de afdeling Fysische Technologie.

Het gehele complex, waarin ook de toegepaste wiskunde werd ondergebracht, omvatte circa 800 m² (bruto) laboratoriumruimte, een flinke werkplaats, een kleine bibliotheek en een collegezaaltje; bij alle beperkingen - met name wat betreft de veiligheid - heeft het ons bijna 20 jaar gelegenheid gegeven ons op zinvolle wijze te ontplooiën. Vooral de goed geëquipeerde mechanische en later ook de elektronische werkplaats zijn daarbij van doorslaggevende betekenis gebleken, omdat we daardoor snel en adequaat - in eigen beheer - hoogwaardige apparatuur en meetinstrumenten konden ontwerpen en vervaardigen.

Eind 1984 verliet de inmiddels tot een harmonische eenheid uitgegroeide vakgroep (zij had toen structureel ruim 40 medewerkers in dienst) de gebouwen aan de Plantage Muidergracht - deze werden onmiddellijk gesloopt - en installeerde zich op enkele verdiepingen van het J.H. van 't Hoff-instituut aan de Nieuwe Achtergracht.

Bouw- en inrichtingskredieten van het Laboratorium voor Chemische Technologie, Plantage Muidergracht 26-30 (1964-1966):

bouwkundige voorzieningen	f	717.000,--
technische installaties		506.000,--
inrichting		148.000,--
overige kosten		146.000,--
Totaal	f	1.517.000,--

Ter vergelijking:
 verbouwingkosten Van 't Hoff-
 instituut ten behoeve van de vakgroep
 Chemische Technologie op de
 1e en 6e verdieping (1984) f 5.500.000,--
 inrichtingskosten 2.500.000,--

Een laatste uitbreiding onderging de vakgroep Chemische Technologie in 1987, doordat extra overheidssteun het mogelijk maakte, in Amsterdam een Biotechnologisch Centrum op te richten. De kleine, door J.J. Brunsmann in 1966 ingerichte afdeling Waterzuivering kon toen worden uitgebreid tot een afdeling Bioproceskunde. Na de komst van Prof.ir. S.P.P. Ottengraf als buitengewoon hoogleraar werd daarvoor op de 5e verdieping laboratoriumruimte gecreëerd.

Wat de jaarlijkse exploitatiekosten betreft, de hiervoor beschikbare gelden waren - met de toegenomen personeelsformatie en de aantallen studenten - in de jaren '65 - '70 geleidelijk meegegroeid tot een bedrag van circa f 280.000,--, waarmee een redelijk beleid kon worden gevoerd. De daarna volgende bezuinigingsronden - en de toenemende noodzaak van vervanging van verouderde en versleten apparatuur, stelden ons laboratorium in de toen volgende jaren voor grote problemen. De *tweede* geldstroom leverde ons wel in toenemende mate - hooggewaardeerde - personeelsplaatsen, maar vrijwel geen materiële steun. De derde geldstroom kwam pas na 1975 op gang, eerst aarzelend, en bijna clandestien - want aanvaarding van industriële steun stond toen bij velen in de universitaire wereld nog gelijk aan het binnenhalen van het Paard van Troje - maar al spoedig volgens zorgvuldig door overheid, universiteiten en bedrijfsleven geformuleerde spelregels. Vooral door de grote inzet van Dr. J.A. Moulijn, later mijn opvolger, leidde dit in de tachtiger jaren tot een solide positie van onze vakgroep, niet alleen in materieel, maar ook in wetenschappelijk opzicht, dankzij de mogelijkheid van onderlinge afstemming van de universitaire en de industriële interesse voor geavanceerd wetenschappelijk onderzoek op bepaalde gebieden. Op deze wijze kon ook de maatschappelijke relevantie van bepaalde technologische ontwikkelingen in een veel breder perspectief aan de orde worden gesteld.

b. De mogelijkheden

Bijgaande tabel geeft een overzicht van enkele belangrijke onderzoekthema's, die in de vakgroep Chemische Technologie sinds haar oprichting in 1962 tot ontwikkeling kwamen. In de keuze van de thema's heeft onze vakgroep in het algemeen een bijzonder goede hand gehad. Zo loopt nog steeds als een gouden draad door haar geschiedenis het *metathese*-onderzoek.

Onderzoekthema's binnen de vakgroep Chemische Technologie

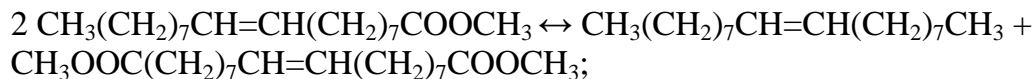
<i>chemische technologie</i>		<i>sinds</i>
toegepaste katalyse	metathese	1964
	gefluorideerde alumina's	1971
	methanol	1980
	katalysatorstructuur en reactiviteit	1975
energie-dragers	reactiesnelheden bij gas-vast reacties	1969
	steenkoolvergassing	1975
	hydrotreating	1978
energie en milieu	uitlaatgassen	1983
<i>fysische technologie</i>		
stroming in buizen	éénfasig (drag reduction)	1967
	tweefasig	1977
stabiliteit van chemische reactie-systemen		1967
stofoverdracht	in driefasige systemen	1977
	in gepulseerde kolom	1982
<i>biotechnologie</i>		
afvalwaterzuivering	aeroob	1966
	anaeroob	1975
bioproceskunde	gasliftreactoren	1980
	intern en extern massatransport	1985

Het was een gouden greep van ir. J.C. Mol (in juni 1964 als eerste wetenschappelijk ambtenaar aan het nog in te richten laboratorium verbonden), toen hij, als eerste onderzoekthema, de metathese van onverzadigde koolwaterstoffen koos - op basis van slechts enkele spaarzame gegevens uit de octrooiliteratuur over deze nog maar juist door Banks en Bailey [18] ontdekte nieuwe reactie - hij zou in 1971 op dit onderwerp promoveren. De eerste publicaties over het reactie-mechanisme [19] brachten ons direct al internationale bekendheid, en deze werd nog aanzienlijk versterkt toen het ons gelukte homogene en heterogene katalysatorsystemen te ontwikkelen waarmee het mogelijk was ook *gefunctionaliseerde* olefinen, met name vetzuren esters, tot reactie te brengen [20], en een reeks van interessante toepassingsmogelijkheden op synthetisch gebied geopend werd.

De metathese van onverzadigde verbindingen betreft een uitwisseling van de alkylideengroepen van de reactanten. Zij leidt tot een evenwichtsmengsel waarin deze groepen statistisch over de aanwezige moleculen zijn verdeeld. Zo resulteert de metathese van propene in een evenwichtsmengsel bestaande uit 50% propene, 25% etheen en 25% buteen-2 (cis en trans):

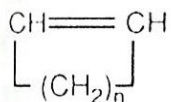


de metathese van *methyloleaat* in een 50% conversie in equimolaire hoeveelheden 9-octadeceen en dimethyl 9-octadeceendioaat:

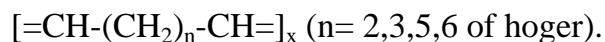


Deze laatste reactie verloopt met katalysatoren van het type $\text{Re}_2\text{O}_7/\text{Al}_2\text{O}_3$, geactiveerd met een geringe hoeveelheid $\text{Sn}(\text{CH}_3)_4$ al bij kamertemperatuur met redelijk snelheid.

Bij cyclische olefinen



heeft de metathese het karakter van een ringopening-polymerisatie; zij leidt tot de vorming van poly-alkenylenen



De betekenis van de metathese-reactie moge blijken uit enkele belangrijke technische toepassingen:

- het SHOP-proces (Shell Higher Olefins Process), waarin de metathese een tussenstap vormt bij de produktie van lineaire hoger olefinen,
- de Feast-technologie (Further Exploitation of Advanced Shell Technology) voor de synthese van α - ω di-olefinen door co-metathese van cyclische olefinen met etheen,
- de produktie van bepaalde poly-alkenylenen, die toepassing vinden in de rubberindustrie,
- de synthese van propene uit etheen en buteen-2 (deze laatste grondstof verkregen door dimerisatie van etheen); in feite betreft deze synthese het omgekeerde van het in 1966 door Philips Petroleum geïntroduceerde Triolefin Process, dat in 1972 als gevolg van de gewijzigde prijsverhoudingen van propene, etheen en buteen moest worden beëindigd. Nog steeds staat het metathese-onderzoek in tal van instituten in het centrum van de belangstelling. Sinds 1976 worden tweejaarlijks de internationale ISOM (International Symposium on Metathesis) symposia georganiseerd; het eerste (informeel) in Mainz, het tweede, in 1977, in Amsterdam, het negende, te houden in 1991, in Philadelphia (USA).

Het *steenkoolvergassingsonderzoek*, in 1975 door dr. Moulijn en medewerkers opgezet, werd enerzijds natuurlijk sterk gemotiveerd door de vooral na de oliecrisis toegenomen interesse voor de toepassingsmogelijkheden van vaste brandstoffen als energie-drager, maar het sloot ook goed aan op zijn promotie-onderzoek, dat betrekking had op de processen die een rol spelen bij stroming van gassen door poreuze gepakte bedden: het stoftransport tussen de deeltjes, de filmdiffusie, de inwendig diffusie en de adsorptie. Moulijn richtte zich vooral op de mogelijkheid van het toepassen van *katalysatoren*, met name kaliumzouten. Het onderzoek trok zowel nationaal als internationaal veel belangstelling, en verkreeg dan ook financiële steun van overheid en bedrijfsleven. Al zijn industriële toepassingen tot dusver tot het proeffabriekstadium beperkt gebleven, het werk heeft sterke impulsen gegeven, niet alleen voor de studie van andere conversie-processen van steenkool (katalytische verbranding, pyrolyse), maar ook voor onderzoek naar het gebruik van actieve kool soorten, bijvoorbeeld bij de katalytische reductie van NO_x in uitlaatgassen.

Gefluorideerde alumina's ontstaan bij de behandeling van NH_4F -houdend afvalwater met actief Al_2O_3 , een procedé, uitgewerkt door de Verenigde Kunstmestfabrieken Mekog-Albatros. Contacten met dit bedrijf leidden tot een tweetal dissertaties, gewijd aan de katalytische eigenschappen van dit type producten.

De zuivering van afvalwater, waarmee onze vakgroep zich, met de komst van de heer J.J. Brunsmann, al in 1966 bezig houden, vormde een belangrijk uitgangspunt voor het latere, meer fundamenteel gerichte, onderzoek op het gebied van de bioproceskunde. Het onderwerp leidde tot een nauwe vorm van samenwerking met de vakgroep Microbiologie. Het confronteerde ons met het gehele, brede terrein van de milieutechnologie, waardoor ook een bijdrage kon worden geleverd aan de activiteiten van de in 1971 opgerichte Interfacultaire Vakgroep Milieukunde (IVAM); in de IVAM werken alle faculteiten van onze universiteit samen, onder meer door het verzorgen van een gezamenlijk bijvakstudiepakket, een voorbeeld van *universaliteit* in onze zo sterk gefragmenteerde wetenschapsbeoefening. Het onderzoek op de afdeling *fysische technologie* werd natuurlijk in sterke mate geïnspireerd door de industriële activiteiten van de buitengewoon hoogleraren Prof. Tels (Caltex), en later, zijn opvolger Prof. Fortuin (DSM). Het richtte zich op de fundamentele bestudering van stromingsverschijnselen in buizen (met name het verschijnsel van 'drag reduction': de afname van de dissipatie van energie in turbulent stromende vloeistoffen onder invloed van uiterst geringe hoeveelheden polymeren) en op theoretisch en experimenteel onderzoek naar de thermodynamische stabiliteit van stationaire toestanden in continu doorstroomde reactoren; in een later stadium werden ook stofoverdrachtsprocessen in kolommen in studie genomen.

Het zal duidelijk zijn, dat de ontwikkeling van dit breed opgezette programma niet mogelijk zou zijn geweest zonder een doelmatige coördinatie binnen de eigen vakgroep en een intensieve samenwerking met groepen daarbuiten. Binnen ons laboratorium is er al

vanaf het begin naar gestreefd, al te grote differentiatie te vermijden, en tot een zodanige harmonisatie van het onderzoek te komen dat de drie afdelingen-chemische technologie, fysische technologie en bioproceskunde - die zich geleidelijk aan ontplooiden - elkaar onderling zoveel mogelijk steun zouden kunnen verlenen.

Binnen de subfaculteit Scheikunde ontstonden met vrijwel alle vakgroepen nauwe vormen van samenwerking; de belangstelling van staf en studenten voor praktische toepassingsmogelijkheden vanuit het eigen onderzoeksgebied groeide en bij de invoering van het vierjarig curriculum (1986) werd de proceskunde toegevoegd aan het verplichte eerstejaars-vakkenpakket, en dus volwaardig in de scheikunde-opleiding van onze universiteit geïntegreerd. Via de Werkgemeenschappen voor Katalyse en Proceskunde van SON, de Stichting Scheikundig Onderzoek in Nederland, kwamen intensieve interuniversitaire contacten tot stand en werd in de loop van de jaren aanzienlijk steun uit de tweede geldstroom verkregen. Belangrijker dan deze materiële steun - hoe onmisbaar overigens - bleek toch, ook voor onze vakgroep, in laatste instantie steeds weer de kritische evaluatie van onze onderzoeksresultaten op de jaarlijkse bijeenkomsten van de Werkgemeenschappen, niet alleen voor de werkgroepleiders, wier beleid in breder verband werd getoetst en bij het verdelen van de beschikbare middelen ook naar waarde gehonoreerd, maar vooral ook voor de jonge promovendi, die - vaak voor het eerst - in korte voordrachten hun werk naar buiten brachten. Dat deze kritische onderlinge beoordeling in het algemeen als positief werd ervaren, getuigt van besef van verantwoordelijkheid van de werkgemeenschappen in het handhaven van de kwaliteit van het universitaire onderzoek, en van de integriteit van haar leden. Voor ons betekende deze jaarlijkse evaluatie een onmisbare toetssteen van de zinvolheid van ons werk, ook in de keuze en uitwerking van de onderzoeksthema's. Zonder deze intensieve collegiale begeleiding vanuit deze specifiek Nederlandse chemische 'infrastructuur' zou de ontplooiing van het onderzoek in de verschillende afdelingen van onze vakgroep ongetwijfeld minder snel en minder harmonieus zijn verlopen.

c. De mensen

Het zijn onze eigen mensen geweest die onze vakgroep hebben gemaakt tot wat ze nu is; de leden van de wetenschappelijke, technische en administratieve staven - waarvan een aantal nu nog tot de 'kernformatie' van ons laboratorium behoort -, de promovendi, de studenten. Als er iets van hen werd gevraagd in de afgelopen jaren, dan was het wel hun volledige en onvoorwaardelijke inzet, vaak onder buitengewone omstandigheden. Welnu, die inzet was er, en die is er gelukkig nog steeds. Moeilijke perioden in ons bestaan hebben we slechts kunnen overleven door een hecht team te vormen, dat - ook naar buiten toe - als een eenheid functioneerde. Dat bleek in 1975, toen het bestaansrecht van de fysische technologie ter discussie stond, en enkele jaren later, toen centralisatieplannen het voortbestaan van de eigen werkplaatsen bedreigden en ingrijpende bezuinigingsmaatregelen leidden tot een ernstige onderbezetting van onze staven, die, tegen alle verdrukking in, toch onderwijs en onderzoek gaande moesten houden. Maar dank zij de inspanning van allen bleek, ook in die kritieke jaren, de kwaliteit van ons werk

belangrijker dan de kwantiteit van onze personeelsformatie, en kwamen we de moeilijkheden te boven.

Wat de studenten en promovendi betreft, ook zij hebben vaak met grote beperkingen genoeg moeten nemen: gebrek aan ruimte en elementair comfort, beperkte hulpmiddelen, beperkte veiligheid; zij hebben wel geleerd te roeien met de riemen die men heeft. In totaal zijn er tot 1987 (volgens de 'oude' studieregeling) 274 doctorandi met hoofd- en/of bijvak chemische of fysische technologie afgestudeerd en kwamen circa 35 promoties tot stand. We komen hen nu dus overal tegen in het bedrijfsleven, deze Amsterdamse procestecnologen, en het zijn hun ervaringen, die mede bepalend zullen zijn voor de verdere evaluatie van het onderwijs en het onderzoek in onze vakgroep.

4. Quo vadimus?

Op deze vraag past maar één duidelijk antwoord: **naar een Amsterdamse ingenieursopleiding.**

Weliswaar worden in het Hoger Onderwijs en Onderzoek Plan 1990 (HOOP 1990), zoals dat op Prinsjesdag 1989 werd uitgebracht, de plannen van reguliere universiteiten om ingenieurs op te leiden (momenteel gebeurt dit al aan de RU Groningen) vooralsnog afgewezen, maar het nijpend tekort aan afgestudeerde ingenieurs - met name aan procesingenieurs - is zo groot, dat het alleen al om die reden onverstandig zou zijn, deze plannen in de ijskast te laten verdwijnen.

Het valt te betreuren, dat met name onze Technische Universiteiten zich tegen ingenieursopleidingen in Groningen en Amsterdam verzetten. Overigens heeft Delft wel zijn medewerking verleent bij het tot stand komen van het Amsterdamse concept-curriculum.

Voor de vakgroep Chemische Technologie is het verheugend, dat de Faculteit Scheikunde zo krachtig bij haar plannen voor een Amsterdamse ingenieursopleiding persisteert. Zij ziet daarin een duidelijk bewijs, dat zij thans niet alleen volledig in de faculteit is geïntegreerd, maar door haar aanwezigheid een aantal nieuwe ontwikkelingen heeft mogelijk gemaakt - proceskunde, biotechnologie - waardoor de Amsterdamse scheikunde opleiding een geheel eigen karakter heeft gekregen; uitgangspunt voor wat wel is genoemd het meest ideale technologische opleidingssysteem: *een academische fundering met een technologische bovenbouw* [21]. Het is dit systeem dat de toekomst van onze vakgroep voor een lange reeks van jaren veilig kan stellen.

Literatuur

1. M. Neumann van Padang, 'Een en ander over de uitbarsting van den Merapi in 1930'; *De Mijningénieur*, **12** (2) 1931
2. H. Kramers, 'Chemical Engineering in The Netherlands 1935 - 1965', ACS-Symposium, *History of Chemical Engineering* (Toronto, June 1988)
3. H.I. Waterman en C. van Vlodrop, *J. Soc. Chem. Ind.*, **55**, 333 T (1936)

4. H.I. Waterman en C. Boelhouwer, 'Sulphur dioxide, a many-sided homogeneous catalyst', *Advances in Catalysis IX.*, 294 (New York 1957)
5. C.P.A. Kappelmeier, *Farbenz.*, **38**, 1018, 1077 (1933)
6. K.F. Bonhoeffer, *Z. phys. Chem. A*, **113**, 199 (1924); **119**, 385, 474 (1926)
7. C. Boelhouwer, *Polymerisatie-verschijnselen bij vette oliën*, Diss. Delft (1952)
8. C. Boelhouwer en H.I. Waterman, 'Preparation of diaromatic compounds in electric discharges', *Research Corresp.*, **9**, 3 (1956)
9. K. van Nes en H.A. van Westen, *Aspects of the constitution of mineral oils*, Elsevier Amsterdam (1951)
10. F.D. Rossini et al., *Selected values of physical and thermodynamic properties of hydrocarbons and related compounds*, A.P.I. Research Project 44
11. H.I. Waterman en A.B.R. Weber, *J. Inst. Petrol.*, **43**, 315 (1957)
12. H.I. Waterman, with the collaboration of C. Boelhouwer and L.J. Revallier, *Hydrogenation of Fatty Oils*, Elsevier Amsterdam (1951); H.I. Waterman, with the collaboration of C. Boelhouwer and J. Cornelissen, *Correlation between Physical Constants and Chemical Structure*, Elsevier Amsterdam (1958); First reprint 1959, 2nd reprint 1960; H.I. Waterman, with the collaboration of C. Boelhouwer and D.Th.A. Huibers, *Process Characterization*, Elsevier Amsterdam (1960)
13. G.J. Sizoo, 'Taak en werkwijze der Rijksverdedigingsorganisatie TNO' in: *15 jaar Rijksverdedigingsorganisatie TNO 1947-1962*; uitgave RVO-TNO (1962)
14. *Explosie- en brandgevaar bij industriële processen*, Verslag van het symposium, gehouden op 9 april 1963 te Utrecht, georganiseerd door de Sectie voor Chemische Technologie van de KNCV en de Afdeling voor Chemische Techniek van het KIVI, Van Stockum N.V. Den Haag (1964)
15. J.L.C. van Geel, *The self-ignition hazard of nitrate ester propellants*; Diss. Delft (1969), p. 82
16. P.B.R. de Geus, 'Toegepaste Wetenschap', *TNO Magazine* (juni 1988), p. 8
17. G. den Boef, *Over Kwaliteit*; Afscheidscollege, gegeven op 1 december 1989 in de Aula van de Universiteit van Amsterdam
18. R.L. Banks en G.C. Bailey, *Ind. Eng. Chem., Prod. Res. Develop.*, **3**, 170 (1964)
19. J.C. Mol, J.A. Moulijn en C. Boelhouwer, 'Carbon -14 studies on the mechanism of the disproportionation of propene', *Chem. Communications*, 633 (1968); J.C. Mol, J.A. Moulijn en C. Boelhouwer, 'On the mechanism of the disproportionation of olefins', *J. Catalysis*, **11**, 87 (1968)
20. P.B. van Dam, M.C. Mittelmeijer en C. Boelhouwer, 'Metathesis of unsaturated fatty acid esters by a homogeneous tungsten hexachloride-tetramethyltin catalyst', *Chem. Communications* (1972), 1221; E. Verkuijlen, F. Kapteyn, J.C. Mol en C. Boelhouwer, 'Heterogeneous metathesis of unsaturated fatty acid esters', *Chem. Communications* (1977), 198
21. G. Frens, *Chemisch Magazine* (december 1988), p. 735