

TUSSEN KUNNEN
EN
DOEN

Ir. A. G. MONTFOORT

TUSSEN KUNNEN EN DOEN

OPENBARE LES

GEGEVEN BIJ DE AANVAARDING VAN HET
LECTORAAT IN DE CHEMISCHE TECHNOLOGIE
AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL TE DELFT
OP VRIJDAG 24 APRIL 1970
DOOR

Ir. A. G. MONTFOORT

N.V. UITGEVERIJ W. VAN HOEVE
DEN HAAG

*Mijne Heren Curatoren,
Mijnheer de Rector Magnificus,
Mijne Heren Leden van de Senaat,
Dames en Heren Lectoren, Docenten en Medewerkers
van de Technische Hogeschool,
Dames en Heren Studenten,
en voorts Gij allen, die door Uw aanwezigheid van Uw belangstelling
blijk geeft,*

Zeer gewaardeerde Toehoorders,

Volgens het benoemingsbesluit luidt mijn leeropdracht het onderwijs in de Chemische Technologie. Dit nu is een wel zeer ruim terrein en ik prijs mij dan ook gelukkig, het onderwijs te moeten inrichten in overeenstemming met de hoogleraren in de Chemische Technologie, waardoor een zekere begrenzing ontstaat. Ik meen er goed aan te doen, u eerst een schets te geven van deze grenzen waardoor het gebied, waarop mijn aandacht hier in Delft hoofdzakelijk gericht zal zijn, zal worden ingesloten. Dit gebied is in de loop van de jaren in de afdeling Scheikundige Technologie getooid geweest met verschillende benamingen, zoals de chemische fabriek, het fabrieksschema, het procesontwerp en het fabrieksvoorontwerp, zoals de naam thans luidt. De vele namen duiden op een snelle evolutie, die wij sinds in 1922 in Delft als eerste ontwerp een schema van een gasfabriek gemaakt werd, vooral sedert de tweede wereldoorlog kunnen waarnemen. Het woord fabriek lijkt mij in ieder geval onontbeerlijk in de naam, omdat dit de essentie is en duidt op een synthese van verschillende ontwerpen, als ook van vele andere facetten, die een fabriek zijn gestalte geven.

Wanneer wij nu trachten ons gebied te projecteren in het raam van de chemische technologie, dan kunnen wij de chemische technologie beschrijven, ook naar de letter van het woord, als de chemische vaardigheid, het chemisch kunnen. Dit kunnen wordt aan de ene zijde begrensd, beter gezegd ondersteund, ja, voortgestuwd door het kennen, de kennis, waaronder natuur-, schei- en wiskunde een voorname plaats innemen. Aan de overzijde van het technologische veld, aan gene zijde van het grensvlak kennen-kunnen, ligt het grensvlak tussen kunnen en doen. Het is nu aan deze grenslijn, dat het gebied van het fabrieksontwerp ligt, dat dus op zijn beurt geschraagd wordt door de technologie, waarbij de chemische technologie in het centrum geflankeerd wordt door de fysische technologie enerzijds en de mechanische technologie anderzijds. Samen vormen deze het gebied van de bewerkingen met het doel de verandering van de stof zelf, van de samenstelling van stoffen en van de vorm van de stof.

Geen chemische fabriek is denkbaar, zonder deze technologische draad, waarbij de mechanische technologie zich vaak aan het begin en het einde bevindt, zoals b.v. grondstofbrekers en zeefinstallaties. Tussen deze bewerkingen en de eigenlijke chemische omzetting ligt het terrein van de fysische technologie, dat veelal een belangrijk deel van de totale installatie omvat.

Hebben wij het gebied van het fabrieksontwerp aan één zijde, de basis – het kunnen – begrensd en tevens het onontbeerlijke fundament gegeven, dan wil ik thans de begrenzingen aan de zijde van 'het doen' nader voor u schetsen.

We zien dan aan de ene kant de werktuigbouwkunde staan, de technische realisatie van de technologische gedachtenwereld. Tot dit gebied rekenen wij b.v. ook inzicht in toepasbaarheid van materialen voor de apparatenbouw en corrosieaspecten, die een grote invloed op het uiteindelijke succes kunnen hebben. Ik wil hier niet verder op ingaan, alleen het belang illustreren met één cijfer over corrosieschade. Deze bedraagt in de aardolie-industrie in de Verenigde Staten f 3,50 per ton verwerkte olie. Inzicht, kennis en ook intuïtie van en voor de technische mogelijkheden spelen een onmiskenbare rol bij het voorontwerp, vooral ook omdat zonder dit werktuigbouwkundige aspect er wezenlijk bij te betrekken, het ontwerp in de mist blijft hangen en geen reële, geen toepasbare gevolgen kan hebben. We hebben hier de woorden reël en toepasbaar laten vallen, zij het in technologische en technische zin, maar eerst recht worden we hiermee geconfronteerd, als we ons een ander grensvlak voor ogen houden: de bedrijfseconomische facetten.

Hiermee voegen wij aan ons tot nog toe gebruikte eenhedenstelsel een nieuwe eenheid – de gulden – toe, die in al zijn beperkingen, ons de mogelijkheid biedt om in wezen ongelijksoortige grootheden, zoals grondstoffen, mensen en tijd, onder één noemer te brengen. Daarmee scheppen wij ons een basis voor vergelijking, onmisbaar voor de ingenieur, die denkt aan praktische industriële uitvoerbaarheid. In dit licht gezien is het dus niet een andere eenheid naast de ons zo vertrouwde meters, secondes en kilogrammen, maar een alles overkoepelende eenheid, men zou bijna geneigd zijn te zeggen, een eenheid van hogere orde. Voor ons is de gulden in eerste aanleg echter een reken-grootheid met relatieve waarde en pas daarna, gezien de keus van de eenheid, ook met absolute waarde, hiermee aansluitend bij de bestaande maatschappij.

Het is duidelijk, dat bij de chemische fabriek in de reeks kennen, kunnen, doen het evenwicht naar rechts gaat en dat hiermee synchroon een verschuiving plaats vindt van academisch wetenschappelijke waarde naar maatschappelijke waarde.

Dat dit het geval is, wil ik verduidelijken met het noemen van een laatste begrenzing na de technologie, de techniek en de economie. Wellicht is het zelfs juister niet te spreken van begrenzing, maar van omvatting. Ik doel hierbij op het management, een veel gebruikt woord de laatste jaren. Ik wil niet ingaan op de vraag of het een wetenschap is en in de reeks eerder genoemde begrenzingen in deze zin thuishoort, maar dat het een vak is en als zodanig een onmisbaar element vormt bij het ontwerp van een fabriek, lijkt mij goed verdedigbaar. Het lijkt ook een miskenning van de problemen van het management, te menen dat dit in de praktijk wel geleerd wordt. Naar mijn mening is voor iedere technoloog enig inzicht in de basisbegrippen van belang, onafhankelijk van het soort werk, dat hij gaat doen, omdat hij passief of actief hiermee geconfronteerd zal worden. Ik doel hierbij op begrippen als doelstelling, planning, organisatie, leiding en toetsing.

Bij het ontwerpen zijn deze begrippen van essentieel belang en ik wil dit onderstrepen door een stukje aan te halen uit een advertentie van een Ned. ingenieursbureau uit de NRC van 28 oktober: 'het begrip engineering houdt in, dat op systematische wijze alle werkzaamheden worden verricht, die nodig zijn om een installatie op tijd en binnen het budget te ontwerpen en te realiseren. Hoewel techniek uiteraard van groot belang is, spelen organisatorische factoren, zoals projectleiding, planning en kostenbewaking in het vak engineering de hoofdrollen'.

De tijd ligt achter ons, dat een technoloog alleen iets ontwerpt of bouwt; een hechte samenwerking met economen, materiaal- en veiligheidsdeskundigen – om slechts enkele andere disciplines te noemen –, is een absolute noodzaak, en juist het creëren van deze samenwerking, die nodig is om te kunnen slagen, is een onderdeel van het management, dat geleerd moet worden. Enerzijds betekent dit een verbreding van gezichtsveld, omdat het bijvoorbeeld noodzakelijk is, zich in te leven in de benaderingswijze, die bij een ander denkpatroon past, maar anderzijds vereist het werken in teamverband een prijsgeven van een stuk individualisme en persoonlijke vrijheid. De verleiding bestaat om in dit verband in te gaan op de technologische kloof tussen de West-Europese technoloog en zijn Amerikaanse collega, maar er is de laatste jaren al zoveel over geschreven, dat ik me tot een enkele opmerking wil beperken.

Dat er wel redenen zijn, om althans van een verschil te spreken, wordt aangetoond door de omzet en winst per man en per eenheid van investering van chemische ondernemingen in de V.S. te vergelijken met die van Europese bedrijven in Europa. De Europese chemische industrie is dan duidelijk in het nadeel. Het is evenwel aan twijfel onderhevig, alhoewel hierover geen exacte

cijfers ter beschikking staan, of de Europese vestigingen van Amerikaanse ondernemingen wel hetzelfde beeld vertonen als hun zusters in de Verenigde Staten, ondanks het feit, dat een belangrijk deel van deze vestigingen dezelfde technologie als in Amerika gebruikt. Enige twijfel aan de technologie als oorzaak lijkt hierdoor dan ook gerechtvaardigd.

Bezien we bovendien de ontwikkeling en commercialisering van b.v. de Ziegler-Natta katalysatoren, het middel druk methanol-proces of de directe synthese van acetaldehyde uit ethyleen, dan waren dit toch Europese ontwikkelingen en kan niet van een technologische achterstand gesproken worden. Beperken wij ons tot een nog weer kleiner gebied, het ontwerp en de bouw van chemische fabrieken, dan kunnen wij uit eigen waarneming spreken. Ik heb het voorrecht gehad in projectgroepen voor de bouw van een aantal fabrieken samen te werken met Amerikanen, Fransen en Duitsers. Voor zover het de technologische problemen, die zich daarbij voordeden betreft, is mijn ervaring, dat de Europeanen daarin zeker niet de minderen waren, in tegendeel. Niet gauw tevreden met het resultaat, geneigd om dieper onderzoek in te stellen, meer factoren nog eens belichtend, voortdurend nieuwe ideeën inbrengend en toetsend, waren enkele van onze sterke kanten. Maar de minderen waren wij zeker in het doel gericht werken, in het begrenzen van de taak, het besef van de waarde van de tijd in absolute zin, het plannen en het rapporteren, alle dus zaken die meer een managerial, dan een technologisch karakter dragen. Op de vele factoren, die dit in hoofdzaak mentale verschil veroorzaken, zoals opleiding, wil ik niet nader ingaan, en slechts twee aspecten noemen, – die overigens niet onafhankelijk van elkaar zijn –, waarin wij een moeilijk te overbruggen verschil vertonen: de geringe mobiliteit en de veelheid van talen. Juist omdat communicatie het belangrijkste middel van het management is, behoeft het laatste geen toelichting. De grotere mobiliteit van hogere functionarissen in de Verenigde Staten vóóronderstelt noodzakelijkerwijs een goed ontwikkeld management, maar werkt anderzijds gelijktijdig als kruisbestuiving, waardoor dit vak verder ontwikkeld en verbreed wordt. Een verschuiving van het accent op persoonlijke waarden naar organisatiewaarden is hierbij niet te vermijden. Daar de universiteit altijd sterk op de eerste gericht geweest is, zijn wij als hogeschool in dit spel zeker betrokken en om deze reden heb ik er enige aandacht aan gegeven.

Ik realiseer mij echter, dat ik de grens van het gebied van het fabrieksontwerp, die ik in het voorgaande u heb trachten te schetsen, met de opmerkingen over het management overschreden heb en ik haast mij dan ook, terug te keren op mijn schreden. De vraag, die ik graag na het vaststellen van de randvoorwaarden, met u zou willen bespreken, betreft het 'waarom', dus het nut en het doel van dit onderdeel van de opleiding. Zoals iedere discipline, die in een opleidingspakket zit, moet deze hetzij als 'vak' voor de goede beroeps-

uitoefening noodzakelijk zijn, hetzij een bijdrage leveren tot het algemene denk- en handelpatroon van dit beroep. Als wij ons eerst richten op de 'vak' noodzaak, dan is het geheel afhankelijk van de toekomstige functie van de jonge ingenieur, of hij het fabrieksontwerp als vak zal moeten gebruiken, waarbij wij nog weer een onderscheid kunnen maken in actieve of creatieve zin en in passieve zin. Als wij het aantal technologen, dat momenteel een fabrieksfunctie heeft, ramen op circa duizend, kan wel gesteld worden, dat het merendeel van de technologen – dus de afstudeerders richting I – er als vak mee te maken krijgt. Ongetwijfeld valt hierbij een zekere verschuiving waar te nemen naar het passieve gebruik, naarmate de maatschappelijke ingenieursladder verder wordt beklommen. Maar terwijl wij daarmee tevens het vaktechnisch aspect zien vervagen, nemen wij waar, dat de bijdrage, die dit vak tot het algemene denkpatroon geleverd kan hebben, in gewicht toeneemt, omdat de aanpak van problemen, die op andere terreinen liggen, gebaseerd kunnen worden op een zelfde benaderingswijze. Een enquête, gehouden door 'The Institution of Chem. Engineers' in het Verenigd Koninkrijk, geeft hierover ook een aanwijzing. (1)

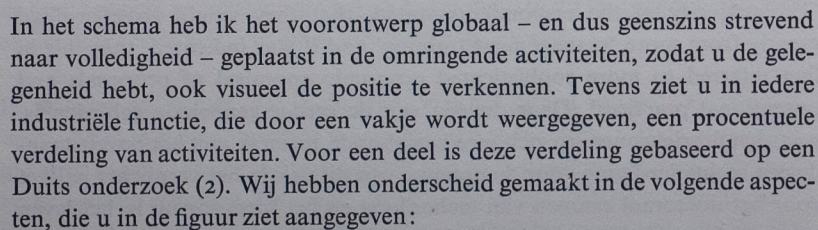
De vragen van deze enquête werden gesteld aan in de industrie werkzame technologen, met het verzoek om een persoonlijke visie. Een analyse van de antwoorden leidde o.a. tot de volgende conclusie: 'The idea of a 'flowsheet' approach to a series of interrelated operations has been of an immense value in most employment situations'.

Ik hoef u in dit verband alleen maar netwerk planning, operationele research en systeemanalyse te noemen, om u de 'flowsheet' benadering duidelijk te maken. Een soortgelijke enquête in Nederland, met de bedoeling na te gaan, welke disciplines door in de praktijk werkzame ingenieurs als belangrijkste beschouwd worden in de uitoefening van hun functie nu en in de toekomst, zou wellicht mede een aanwijzing kunnen zijn in welke richting de opleiding tot technoloog gestuurd moet worden.

Van een andere conclusie uit deze enquête wil ik u ook nog deelgenoot maken: 'The majority of the respondents stated, that they would have profited greatly from more 'management training' and it was indicated, that this in fact referred to more sophisticated economic appraisal of proposals and operational practices'. Daar dit één van de eerder genoemde gebieden is, waar het fabrieksontwerp zich mee bezighoudt, meen ik met het bovenstaande een rechtvaardiging voor de opname van dit vak in het verplichte pakket voor het doctoraal examen van technoloog en het hiervoor nu in het leven geroepen lectoraat, aangeduid te hebben.

Ook bij het 'hoe' wil ik, geachte toehoorders, graag een moment met u stil-

8



Chemische en Fysische Technologie
Fysische Werkwijzen en Apparaten
Structuuranalyse

Diversen, zoals chemie, electrotechniek, marktkunde en andere.

Als wij het beeld verder voortzetten, is het dus te vergelijken met een hulpbrug, nodig om de gegevens te verzamelen voor de te bouwen echte brug. Hij hoeft maar smal te zijn, het heeft geen zin te breed te bouwen vóór het gebied verkend is, de bodem in de rivier betrouwbaar is gebleken en de oever geen moeras blijkt te zijn. Ook plaatselijke verbreding heeft – althans bedrijfseconomisch gezien –, doorgaans weinig zin, alhoewel het in educatief opzicht wel zinvol kan zijn. Het maakt de brug niet bruikbaar, alleen minder stabiel en het kan de indruk wekken, dat de brug al voor zwaarder verkeer geschikt is en de werkelijke situatie wordt dus versluierd. Op de hulpbrug moeten duidelijk waarschuwingsborden geplaatst worden bij gebleken zwakke plekken, bij voorbeeld door gebrek aan gegevens of tegenstrijdige gegevens. De aandacht moet bewust gericht worden op het onderkennen en aanduiden van deze plekken en rekening moet gehouden worden met van buitenaf komende invloeden als wassend water, ijzel, mist of kruiend ijs.

9

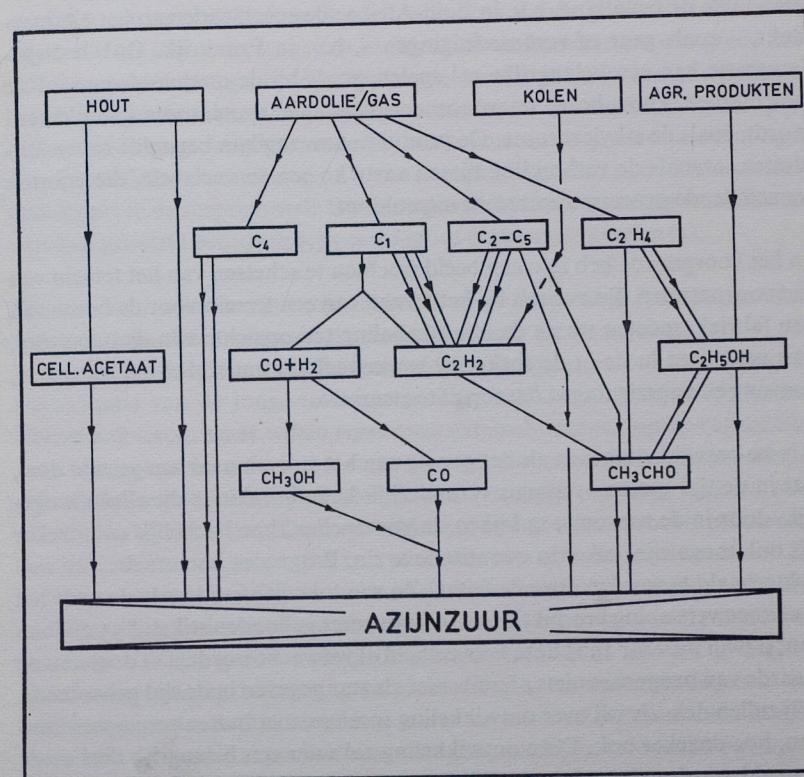
paradox is, want de tijd stelt beperkingen. Hij verzamelt gegevens, rangschikt, shift, werkt uit, detailleert en moet tenslotte snijden, om tot een aanvaardbaar tijdschema te komen. Ontwerpen vraagt daarom een filosofische aanpak, alhoewel het resultaat iets moet zijn, dat goed en bovenal veilig is. Niet het fundamentele hoe en waarom, maar het aftasten van de grenzen, het vinden van de randvoorwaarden is het doel. Want het idee moet verwezenlijkt worden binnen de grenzen, binnen hetgeen toelaatbaar is, en dit niet alleen in technische zin. Hij spitst zijn aandacht op de bottleneck, op dat, wat het meeste tijd zal kosten om op te lossen. Het waarom van de gevonden oplossing is vaak niet relevant, althans niet voor het ontwerp. Integendeel, vaak zal de hypothese volstrekt onjuist zijn in zijn algemeenheid, maar zo lang hij voldoet binnen de randvoorwaarden, en wij ook binnen deze voorwaarden blijven en niet extrapoleren, is dit voor de ontwerper acceptabel.

Ik wil dit graag illustreren met een voorbeeld. Op grond van zeer summiere gegevens uit een pilot plant bleek een reactie goed te beschrijven met een snelheidsvergelijking in de vorm van $R = kA^pB^q$, waarin p ongeveer 1 was en q 11, dus een elfde orde reactie in B. Dit laatste nu zal zeker niet het geval zijn. Dit model werd evenwel gebruikt als basis voor een reactorontwerp op commerciële schaal. Bedoelde reactor werd enige jaren geleden in gebruik genomen en voldoet geheel aan de verwachting. De afgelopen jaren is toevalligerwijs elders een model ontwikkeld voor deze reactie, die het chemische geweten minder geweld aandoet, maar het reactorontwerp op basis hiervan is niet wezenlijk verschillend van de bestaande reactor. Alhoewel hij technologisch gezien kleiner zou kunnen zijn, is de bestaande reactor uit economisch oogpunt toch te prefereren.

De opzet van het onderwijs, 'het hoe', zal voor zover mogelijk een weerspiegeling moeten zijn van het hiervoor geprojecteerde beeld. Getracht moet ook worden om de economische gedachte op vaktechnisch relevante wijze een plaats te geven in het onderwijs, dus bezien uit het oogpunt van nut voor de technoloog.

Er zijn echter facetten aan te geven, die dat alles bemoeilijken. De Hogeschool kan zich niet de mankracht veroorloven voor de begeleiding van een professioneel ontwerp, afgezien van het feit, dat dit in de uitwerking meer rekenen dan denken is. Een belangrijk deel van de tijd van de docent wordt gebruikt voor het verzamelen van geschikte onderwerpen. Actuele problemen uit de industrie zijn een noodzaak, om het onderzoek levendig te houden. Een andere factor waardoor het fabrieksontwerp bij het hoger onderwijs het vaak moeilijk heeft, wordt veroorzaakt door het feit, dat het onderzoek in vergelijking met het onderwijs een bescheiden rol speelt; bovendien is dit

onderzoek meer operationeel dan wetenschappelijk, dus gericht op het vinden van de middelen om het doel te bereiken. Dit heeft vaak tot gevolg, dat de aandacht van de docent, voor wie juist het wetenschappelijk onderzoek de trekpleister is, anders gericht is. Ik wil hier Prof. Budford Smith, van de Washington University citeren: 'To be successful a professor must achieve excellence in some field of technical endeavour. Excellence in design is almost impossible to achieve in a university, a man must go to industry to achieve eminence in that field' (3).



Aan de hand van het schema wil ik u een voorbeeld geven van een veld, dat bij voorontwerp en evaluatie bestreken wordt. De op dit moment commercieel bedreven routes voor de bereiding van azijnzuur staan hierop aangegeven. Dit betekent dus, dat al deze wegen onder bepaalde omstandigheden concurrerend zijn. Het aantal mogelijke routes, dus b.v. semitechnische processen, heb ik buiten beschouwing gelaten, juist om duidelijk te maken, dat niet technologie en techniek alleen bepalend zijn bij de beslissing, om wel of niet tot 'het doen' over te gaan. In een aantal gevallen staan tussen de verschillende produkten meerdere pijlen aangegeven, die aanduiden, dat er

evenzovele van elkaar verschillende werkwijzen worden toegepast, zoals b.v. voor de acetyleenbereiding op basis van de C_2/C_5 -fractie, het Wulffproces, het Sachsse-proces en het Hüls-lichtboogproces. Bijproductstromen zijn niet aangegeven, hoewel de afzet of gebruiksmogelijkheden vaak doorslaggevend kunnen zijn voor de rentabiliteit; een uitzondering hierop vormt de route, uitgaande van hout, omdat hierbij het azijnzuur zelf bijproduct is. Als andere factoren van invloed op de keus noem ik u de grondstofpositie, zoals in Skandinavië en Italië; de energiepositie, b.v. in Duitsland; de ontwikkelingsgraad van de bevolking, b.v. in Zuid-Afrika; de specificatie van het eindproduct, – zoals geur of verontreinigingen –, b.v. in Frankrijk. Ook bedrijfsintegratie kan een belangrijke rol spelen, zoals bij de methanolroute, of de beschikbare know-how, waardoor een bepaalde route soms geblokkeerd wordt, zoals de ethyleenroute. De produktieomvang kan bepaalde routes uitsluiten, evenals de verhouding tussen vaste kosten en variabele, die voor de verschillende processen zeer sterk uiteenloopt.

In het voorgaande heb ik u een beeld trachten te schetsen van het terrein van het voorontwerp. En evenals bij het kiezen van een terrein voor de bouw van een fabriek, moeten we na de plaatsbepaling ten opzichte van de omgeving, ons verdiepen in de in de toekomst te verwachten ontwikkeling, om vorm, omvang en voorzieningen daarop af te stemmen.

Als we ontwikkeling zien als het gevolg van het streven naar een gesteld doel, dat in de tijd gezien overigens veranderlijk kan zijn, dan is dit alleen mogelijk, door in de toekomst te kijken, te voorspellen, hoe hachelijk en onzeker dit ook moge zijn, zeker in kwantitatieve zin. Prognoses immers dreigen snel achterhaald te worden door de feiten. Zo was toen ik afstudeerde de voor het jaar 2000 verwachte produktie van in kunstmest gebonden stikstof 55 miljoen ton, terwijl nu voor 1975 deze hoeveelheid al verwacht wordt. Dit doet aan de waarde van prognoses niets af, mits niet als star gegeven in de tijd gehanteerd. Wij zullen dus, als wij over ontwikkeling spreken, niet buiten prognoses kunnen, hoe onzeker ook. Deze ontwikkeling zal voor een belangrijk deel mede bepaald worden door de ontwikkeling van de eerder genoemde grensgebieden, een wisselwerking over en weer. Ik zou als voorbeeld van technisch-economische invloed willen noemen de capaciteitsvergroting van de enkelvoudige produktie-eenheid en de bedrijfsschaalvergroting. Maar ook verder afgelegene invloeden zullen zich doen gelden zoals nieuwe toepassingen van produkten, die een sterke zuigkracht op de markt uitoefenen of zoals de milieu-beheersing, die het menselijk welzijn raakt. Deze tendenzen zullen gebundeld worden in de al eerder aangegeven procesontwikkeling, het onderzoek naar nieuwe wegen voor oude en nieuwe produkten en het kritisch bezien van verlaten methodes op basis van de zich steeds wijzigende omstandig-

heden, waardoor deze routes weer een aantrekkelijke propositie kunnen betekenen.

Ik heb u genoemd de bedrijfsschaalvergroting en de capaciteitsvergroting van de enkele produktie-eenheid. Beiden houden nauw verband met elkaar, omdat uitvoering van het laatstgenoemde alleen mogelijk is in grote ondernemingen. Over de wenselijkheid of noodzaak van schaalvergroting wil ik niet spreken. Over een gevolg wil ik wel iets zeggen en daarom geef ik u het resultaat van een recent Amerikaans onderzoek. In die produktietakken van de chemische industrie, waar een klein aantal ondernemingen een groot deel van de omzet verzorgt, is de toegevoegde waarde per werknemer significant groter dan in de takken met weinig concentratie. Bovendien is in één produktietak de toegevoegde waarde per werknemer in de grote ondernemingen – op een enkele uitzondering na – aanzienlijk groter dan in de kleine ondernemingen; in de zeepindustrie b.v. is de gemiddelde toegevoegde waarde/man van de 4 grootste bedrijven $2,33 \times$ zo groot als van alle overige (4).

Ik noem deze schaalvergroting omdat er op de lange weg, die ligt tussen de papieren schaalvergroting en de tastbare cijfers, die ik zojuist noemde, een belangrijk werkterrein voor de technoloog zal liggen en een invloed op de werksituatie van de jonge technoloog zeker merkbaar zal zijn. We komen hierop nog terug, maar willen eerst onze aandacht richten op de capaciteitsvergroting, waarmee wij in het ontwerp – en daarna in de bedrijfsvoering – geconfronteerd worden; fabriekseenheden van grote omvang, vaak ontworpen als één enkele straat. Deze ontwikkeling brengt bijna evenveel problemen met zich mee als de vergroting van pilot plant tot conventionele eenheid. De trend doet zich in hoofdzaak voor in de basischemicaliën, zoals zuren, ammoniak, methanol, ethyleen, enz. Deze eenheden zijn ook in de marktverhouding vaak erg groot. Terwijl de methanolproduktie in 1968 in de V.S. totaal 6000 ton/dag bedroeg, geproduceerd door 12 ondernemingen in een aanzienlijk groter aantal eenheden, waren er 5 enkelstraatseenheden in aanbouw met een totale capaciteit van 5800 ton, dus bijna voldoende om de behoefte van 1968 te verzorgen. (5)

De economische voordelen, die voor grote eenheden becijferd kunnen worden, zijn doorgaans imponerend. Hiervoor kunnen drie factoren genoemd worden. De loonkosten dalen, de investering stijgt niet lineair met de capaciteit en soms is het mogelijk andere apparatuur te gebruiken, die een lagere investering vereist. Soms kan ook een andere werkwijze gevolgd worden, die lagere kosten met zich meebrengt of economisch alleen mogelijk is bij een grote omzet. Wij kunnen hierbij b.v. denken aan vloeistof extractie in plaats van destillatie of aan de synthesesegazuivering bij ammoniak-fabrieken door

vloeibaar maken van gas; ook het gebruik van centrifugaal- in plaats van zuigercompressoren of het gebruik van meerdere, ten dele goedkopere, staal-soorten voor de bouw van b.v. een destillatiekolom.

Niet altijd echter wordt de investering per eenheid van capaciteit lager bij vergroting van de apparatuur. Voor fornuizen zien wij een bijna lineair verband en ook warmtewisselaars gaan niet boven een bepaalde grootte, waarna tot meerdere eenheden wordt overgegaan en er dus een lineair verband bestaat.

De vraag rijst of er een maximum gesteld is aan de grootte van een installatie. Indien wij het maximum in economische zin bedoelen, is dit in een aantal gevallen zeker bevestigend te beantwoorden. Transportmogelijkheden van apparatuur leggen een zekere beperking op aan de afmetingen, en dit houdt in, dat deze soms niet meer in de werkplaats, maar ter plaatse gebouwd moet worden. Daar vaak speciale materiaalbehandelingen noodzakelijk zijn en door de werkomstandigheden de in situ fabricagekosten hoger zijn, nemen deze doorgaans zelfs progressief toe met de omvang of capaciteit van het apparaat, zodat 2 apparaten in een machinefabriek gemaakt goedkoper zijn. Richtten wij onze aandacht op de verbindende elementen in een fabriek, het pijpleidingsysteem, dan zien we, dat de pijpdiameter toeneemt met de wortel uit de capaciteitsverhouding, en dus ook de wanddikte met dezelfde verhouding, zodat het gewicht van de pijp lineair met de capaciteit stijgt en dit betekent voor grotere pijpen een praktisch lineaire prijsstijging. Appendages, zoals afsluiters en flenzen, vooral voor grotere diameters en bijzondere staalsoorten geven echter een prijsstijging te zien, die toeneemt met meer dan het kwadraat van de diameter, zodat over het geheel genomen de prijs van pijpsystemen per eenheid van produkt eerst een daling te zien geeft en vervolgens weer een stijging.

Een paar factoren, die bij verdere capaciteitsstijging weer gaan toenemen in prijs per produktie-eenheid, werden genoemd als voorbeeld om aan te geven, dat er een begrenzing aan de capaciteit van enkelvoudige fabriekseenheden bestaat. De verlaging van de kostprijs door capaciteitsvergroting is dus gelimiteerd, terwijl bovendien een aantal andere factoren een relatief steeds belangrijker rol gaat spelen bij grotere capaciteiten. Door de, in absolute zin, zeer grote investeringen, moeten deze eenheden op een grote doorzet lopen. Vele zijn ontworpen met een minimum aan parallelle apparatuur, en dit brengt met zich mee, dat een klein gebrek een hele installatie kan stilleggen. De I.C.I. heeft van een aantal nieuwe installaties eens een overzicht gemaakt van de procentuele verdeling van de start-up en operationele problemen. 10% was een gevolg van ontwerpfouten, 16% van verkeerde montage, 13%

van verkeerde voorschriften en menselijke fouten en 61% een gevolg van uitvallen van apparatuur. Van werktuigkundige zijde heeft Prof. C. v. d. Berg in zijn oratie aan de T.H. in Twente aandacht aan de bedrijfszekerheid gegeven. Nauw hiermee samen hangt de te verwachten bedrijfstijd, waar bij het ontwerpen rekening mee gehouden moet worden. Deze hangt af van de kennis van het proces. Meer kennis zal een nauwere marge toelaten, b.v. een looptijd van 350 dagen per jaar, tegen een minder bekend proces 300 dagen, resulterend in lagere kosten per jaar ton. Bovendien betekent meer kennis een kleinere spreiding in overdesign, dus een lagere investering per ton.

Er bestaat dus een verband tussen de kennis, die we verkregen hebben door een proces te bedrijven en de kosten per ton gemaakt produkt. Indien we nu de kennis relateren aan de cumulatieve produktie met dat proces, dan kunnen we het verband zo formuleren, dat we bij iedere verdubbeling van de cumulatieve produktie een even grote produktie kunnen realiseren in ongeveer 90% van de tijd, die we eerst nodig hadden. Hetzelfde gaat, in nog sterkere mate op voor nieuwe investeringen, waarbij de investeringskosten voor dezelfde capaciteit na iedere verdubbeling van geproduceerde hoeveelheid tussen 80% en 90% bedragen van de oorspronkelijke investering in constante prijzen. (6) Hierdoor wordt de kostenstijging, die met de tijd optreedt – zoals inflatie – en die in een indexcijfer voor de bouw van chemische installaties tot uitdrukking gebracht kan worden, doorgaans gecompenseerd, zodat de investering voor een zelfde capaciteit ook in lopende prijzen lager wordt. Dit, tezamen met de eerder genoemde kostprijsverlagende trend voor grotere eenheden, draagt er in belangrijke mate toe bij, dat het indexcijfer voor basischemicaliën eerder een dalende dan een stijgende tendens te zien geeft. De relaties, die ik u zo juist geschetst heb, zijn gemiddelden en voor individuele eenheden kunnen nog zeer uiteenlopende resultaten verkregen worden. Zo varieerde voor 17 onlangs in bedrijf genomen ammoniakfabrieken de periode tussen start en eerste produktie van 17 tot 123 dagen, met een gemiddelde van 45 en een periode van 5 tot 180 dagen tussen eerste produktie en volle produktie, met een gemiddelde van 34. (7)

Teneinde de op papier berekende voordelen te realiseren, zal het o.a. noodzakelijk zijn de hierboven genoemde aanloopperiodes te bekorten en de betrouwbaarheid te vergroten. De technologische problemen, samenhangend met de grotere eenheden, zullen in sterke mate beïnvloed of overschaduwd worden door problemen van meer technische of organisatorische aard. Maar dit geldt niet alleen voor de bouw en in bedrijfstelling van fabrieken; de schaalvergroting zal voor technologen ook met zich brengen, dat de integratie van grond- en hulpstoffen tussen fabriekscomplexen, de flexibiliteit, zowel in de te gebruiken grondstoffen als in het te produceren produkt en nog vele

andere problemen, de aandacht zullen vergen op niet alleen technologisch terrein. Hierbij kunnen wij ook denken aan de fysieke koppeling van bedrijven door pijpleidingen. Naast de gas-, olie- en elektriciteitsnetten, die wij kennen, zullen voor andere, vooral primaire produkten zoals zuurstof en ethyleen eveneens netwerken ontstaan. In 1971 zullen b.v. een tiental producenten en verbruikers van ethyleen in Nederland, België en Duitsland met elkaar verbonden zijn, waarbij de totale produktie capaciteit op dit net ongeveer $2\frac{1}{2}$ miljoen ton/jaar bedraagt. De technoloog in de chemische industrie zal voor deze gevallen zeker terugvallen op de model ervaring opgedaan bij technologische problemen, gebruik makend van de computer.

Ik wil slechts kort stilstaan bij de computer. Maar aan de computer is de meer systematische aanpak bij het ontwerp onafscheidelijk verbonden, omdat deze het mogelijk heeft gemaakt berekeningen, die menselijkerwijze niet uitvoerbaar waren, te realiseren. Bovendien heeft hij een aantal voordelen boven de mens-ingenieur, zoals volledigheid, ondubbelzinnigheid, exactheid, reproduceerbaarheid en onvermoeibaarheid, die niet te onderschatten zijn. Bij het fabrieksvoorontwerp moet de student dan ook niet trachten te concurreren met deze eigenschappen, maar zich richten op het essentiële: het onderkennen en formuleren van de problemen, en deze zonodig door de computer laten oplossen, waarbij de meest eenvoudige vorm, de rekenlat, soms het beste compromis tussen snelheid en nauwkeurigheid is. Want de grote hoeveelheid gegevens, die de computer kan leveren, kunnen een bedreiging vormen voor het inzicht, evenals de starre denkmethodiek voor de speelsheid, die toch de basis van de creativiteit vormt.

Als laatste wil ik een onderwerp, dat al geruime tijd in de technologische belangstelling staat, en recentelijk ook er buiten, niet onbesproken laten. Ik doel hier op de al eerder genoemde milieu-beheersing. Dat dit tot de taak van de technoloog behoort, wordt duidelijk als we de materiaalbalans – met de nadruk op balans – van een proces bezien. Door juist in de ontwerpfasen hier al rekening mee te houden, kan vaak al met nog relatief eenvoudige middelen een acceptabel resultaat verkregen worden. Ik realiseer me, dat dit woord acceptabel nogal vrijblijvend is en om quantificering vraagt, die voor een ontwerp nodig is.

Een oud spreekwoord zegt: 'Waar gehakt wordt, vallen spaanders' en hierin ligt al besloten, dat activiteiten op welk terrein ook, gepaard gaan met mislukkingen en afval, en dit altijd zullen blijven doen. Deze spaanders nu kunnen alle onder het begrip milieu-verontreiniging samengevat worden. Vele zijn al lang geleden onderkend, en vallen onder maatregelen als warenwet, schoonheidscommissies en silicosewet, om er enkele te noemen. Op twee aspecten

die in onze werksfeer liggen, zou ik wat nader willen ingaan; ik doel hier op lawaai en stank.

Technologen zijn doorgaans meer alert op stank dan op lawaai. Soms is lawaai niet te voorkomen, zoals in brekerijen, alhoewel de wijze van breken een groot verschil kan maken en het produkt in beide gevallen acceptabel is. Daarnaast zijn er twee andere belangrijke bronnen van lawaai in de chemische fabriek: gas en stoom onder hoge snelheid stromend en draaiende apparatuur zoals compressoren. Het lawaai, dat fakkels kunnen maken door de stoomdosering, die tot doel heeft de roetvorming te bestrijden door watergasvorming rechtvaardigt de vraag, of het middel soms niet erger is dan de kwaal.

Een nauwe samenwerking tussen werktuigbouwers en technologen is hierbij vereist, zowel in de ontwerp- als in de bedrijfsfase. Vooral de startfase van fabrieken, en meer algemeen de niet stationaire toestand kan aanleiding geven tot een sterk verhoogd geluidsniveau. Het zich realiseren van de mogelijke bronnen, en de voorzieningen voor de bestrijding, dienen deel uit te maken van de gereedschapskist van de technologen.

Als laatste willen we aandacht schenken aan stank. Stank is, afgezien van het al dan niet schadelijk zijn, meer dan enige andere vorm van verontreiniging, in staat reacties te verwekken, die de chemische industrie geen goed doen. De bestrijding hiervan is aanzienlijk moeilijker dan van stof. Daarenboven is zowel het meten als het bepalen van wat nog toelaatbaar is, moeilijk, omdat de concentraties veelal laag en de gevolgen vaak niet duidelijk zijn. Doordat stank vaak ontstaat door technische of andere fouten op niet te voorziene plaatsen wordt bestrijding nog verzwaard. Het betekent anderzijds wel, dat het produktieniveau statistisch gezien min of meer constant zal zijn, mits het beschouwde gebied voldoende industrieën bevat, en hierop berust dan ook de basisfilosofie om het SO_2 -gehalte als kenmerkend te beschouwen en dit te meten, zoals b.v. in het Rijnmondgebied gebeurt. Een verhoging van het SO_2 -gehalte duidt dan op ongunstige meteorologische omstandigheden – een stabiele atmosfeer –, waardoor tevens het lokale stankniveau verhoogd wordt. Er is in dit geval dus sprake van een zekere correlatie, terwijl op zichzelf er geen enkel verband bestaat tussen SO_2 spui naar de atmosfeer en de stank veroorzakers. Duidelijk is, dat de produktie per tijdseenheid stank verwekkende of schadelijke stoffen naar de atmosfeer onafhankelijk hiervan gestegen, gedaald of gelijk gebleven kan zijn. Alleen door daadwerkelijk de spui van deze stoffen te verminderen, kan de lokale concentratie verlaagd worden, zoals dan ook op basis van vrijwilligheid door de industrie in Rijnmond onder deze ongunstige omstandigheden gedaan wordt.

Dat een taak voor technologen in de komende jaren in dit vlak is weggelegd, is evident. Een viertal methodes om het euvel aan te pakken wil ik noemen en wel het verspreiden over een groter oppervlak, zodat de concentratie verlaagd wordt op het grondoppervlak, het maskeren van de stank, het verminderen van de hoeveelheid stankverwekker vóór het punt van emissie door een fysisch-technologische ingreep en het veranderen van de procesgang, zodat er minder produkt wordt gevormd of het produkt omgezet wordt in een onschadelijk produkt, dus een chemisch-technologische ingreep. De bovengenoemde volgorde duidt op een toenemende mate van gecompliceerdheid en een ingrijpen in een steeds vroeger stadium tussen ontwerp en gebouwde fabriek. Welke oplossing gekozen wordt – en vaak meer dan één gelijktijdig – hangt af van vele oorzaken.

Maskeren kan voor hinderlijke stank wel toegepast worden, voor schadelijke concentraties geeft het geen oplossing. Bij deze weg wordt dus getracht met de één of andere stof de onaangename geur te verminderen of te laten overschaduwen door een aangename geur. Een toepassing zag ik eens bij een bezinkvijver voor een heet teer/water mengsel, waarbij chlorophyl over het oppervlak verstoven werd, waardoor een opmerkelijk resultaat verkregen werd. Toch zullen wij, indien mogelijk de voorkeur geven aan een meer technologische oplossing.

Wij kunnen hier dus denken aan wastorens of adsorptie, waarmee wij het probleem in wezen naar een later stadium verschuiven. Maar bovenal zullen wij het in chemisch-technologische zin willen oplossen, door oxydatie of een andere modificatie, waardoor de hinder of schadelijkheid verminderd wordt. Vooral voor stank komt oxydatie – doorgaans met lucht – in aanmerking, omdat bij goede verbranding een reukloos gas ontstaat, zelfs voor zwavel- en stikstofverbindingen in verontreinigde gasstromen, omdat de concentratie van de oxydatie-produkten doorgaans beneden de reukgrens ligt. Bij onvolgende verbranding kunnen echter de oxydatie-produkten, zoals aldehydes en zuren, de stank vergroten. Bij deze methodes worden al dan niet waardevolle produkten gedegradeerd tot koolzuur en water, soms gepaard gaande met hoge brandstofkosten. Zijn de concentraties aan andere elementen dan koolstof en waterstof hoog, dan zal in vele gevallen in de toekomst niet te ontkomen zijn aan terugwinning door chemische omzetting. Vooral voor zwaveldioxyde in rookgassen is de laatste jaren zeer uitvoerig semitechnisch onderzoek gedaan, zoals adsorptie aan alkalized alumina, absorptie in gesmolten metaalcarbonaat, katalytische oxydatie of oxydatieve binding aan kool. Al deze methodes vereisen vrij gecompliceerde installaties en zijn een fabriek op zichzelf, met een tot nu toe helaas nog weinig hoopgevende rentabiliteit.

Om u een indruk te geven over welke hoeveelheden we hier moeten denken, noem ik u de hoeveelheid SO_2 , die de lucht in gegaan is, voor enkele landen. In de V.S. was dit in 1966 het equivalent van 14 miljoen ton zwavel, waarvan driekwart uit kolen/oliestoken en in West-Duitsland 3 miljoen ton. Hiertegenover staat een zwavelverbruik van 12 miljoen ton in de V.S., zodat de behoefte zelfs lager is. Om misverstanden te vermijden wil ik er de nadruk op leggen, dat een groot deel van de SO_2 een niet-industriële herkomst heeft, en dus ook zeer verspreid geproduceerd wordt, wat de bestrijding verzwaart. In Vlaardingen b.v. wordt de SO_2 slechts voor 1/3 door de industrie veroorzaakt.

We hebben nu een aantal kwalitatieve mogelijkheden genoemd en willen nu komen tot quantificeren en moeten dus eisen gaan stellen. Immers, het stellen van randvoorwaarden, dus eisen, is een noodzaak om tot een ontwerp te komen, onafhankelijk van welke oplossing we van de hierboven genoemde kiezen. Het formuleren van deze eisen in een voor de technoloog bruikbare vorm is één van de kenmerkende interdisciplinaire randgebieden, waarover ik al eerder sprak, omdat indicaties van medische, sociologische of andere aard via meteriologische en fysische methoden, in een voor het ontwerp bruikbare vorm gebracht moeten worden.

Anders gezegd, als we aannemen, dat de maximaal toelaatbare concentratie op het grondniveau bekend is, op welke grond dan ook, dan moet deze vertaald worden in een toelaatbare hoeveelheid van deze stof, die gespuid kan worden. Indien we ons nu bepalen tot gasspui via een schoorsteen, dan zouden we het verband tussen beiden de uitbreidingsparameter kunnen noemen, die van windsnelheid, effectieve schoorsteenhoogte, ligging, windrichting en andere klimatologische omstandigheden afhangt. Onder bepaalde aannamen is het mogelijk op ieder gewenst punt op grondniveau de concentratie als functie van de emissie bij elke gewenste uitbreidingsparameter – dus windsnelheid, schoorsteenhoogte, etc. – te berekenen. Alhoewel dit driedimensionale mathematische model reeds lang bekend is, is eerst door de computer een totale oplossing mogelijk geweest. Hierdoor kan het oppervlak waarover de verontreiniging een gestelde waarde te boven gaat bepaald worden, evenals de gemiddelde relatieve overschrijding. Het produkt van beide kan als kengetal voor de vervuiling gebruikt worden, vooral voor onderlinge vergelijking. (8)

Zoals te verwachten, is er een plaats, waar de concentratie maximaal is. Voor gemiddelde weersgesteldheid ligt deze b.v. op een afstand van de schoorsteen, gelijk aan $10 \times$ de effectieve hoogte. Door het voorontwerp nu zo te maken, dat we op grond van het genoemde model kunnen verwachten, dat de

maximale concentratie lager is dan de toelaatbare waarde, hebben we een basis gecreëerd, waaraan we variaties in produktie, windsterkte en andere parameters kunnen relateren. Het uiteindelijke ontwerp zal, afhankelijk van de bestaande en nog te verwachten verontreinigingen, gebaseerd moeten worden op een maximaal te verwachten concentratie, die een fractie moet zijn van de toelaatbare totaal concentratie.

Richtlijnen, over wat wel en niet meer toelaatbaar is, zijn hiervoor nodig en vele landen hebben deze, zij het zeer verschillend. De strengste eis in de V.S. en de eisen van b.v. Tokyo voor SO_2 verschillen een factor 30. Dat het Japanse SO_2 evenzovele malen schadelijker is dan het Amerikaanse, is niet waarschijnlijk, zodat andere factoren een rol spelen, zoals klimaat, bevolkingsdichtheid en definitie. Zo moeten de tijdsduur van monstername en de overschrijdingscriteria vastgesteld zijn, zoals in de TNO-norm voor SO_2 ook het geval is. Het hanteren, zowel als het opstellen van eisen moet dus met de nodige voorzichtigheid geschieden. Het betrekken van het eerder genoemde oppervlakte-kengetal in de overwegingen is zeker aan te bevelen, omdat een te grote concentratie van industrieën of andere bronnen, die individueel aan de eisen voldoen, maar samen overlast geven, eerder voorkomen kan worden. Internationaal overleg is geboden, daar de verontreinigingen niet bij de landsgrenzen stoppen, zoals in Zweden ervaren wordt, waar het SO_2 uit West-Europa neerslag met lage P_H veroorzaakt.

Zeër geachte Toehoorders,

Bij de aanvaarding van mijn ambt wil ik mijn eerbiedige dank uitspreken aan Hare Majesteit de Koningin voor mijn benoeming.

Mijne Heren Curatoren,

U ben ik erkentelijk voor het vertrouwen, dat u in mij hebt gesteld door mij voor dit ambt voor te dragen.

Mijne Dames en Heren hoogleraren, lectoren en medewerkers van de Afdeling der Scheikundige Technologie,

Ik ben bijzonder verheugd mijn werk temidden van u te mogen verrichten. Graag zal ik het mijne bijdragen om te komen tot een goede samenwerking. Mijn loopbaan met Delft als brandpunt is nog een ellips gebleken, maar bijna ontaard in een parabool. En in die verre kosmos heb ik blootgestaan aan andere straling dan academisch onderzoek en onderwijs. Uw steun zal ik zeker niet kunnen ontberen.

Ter ondersteuning van mijn beroep op u meen ik u eerlijkheidshalve de woorden niet te mogen onthouden, die één van mijn hoogleraren na afloop van een tentamen mij meegaf: 'De mogelijkheid, dat u een goed ingenieur wordt, wil ik niet uitsluiten, maar een goed chemicus wordt u nooit'.

Dames en Heren studenten,

Ik hoop, dat ik u een idee heb kunnen geven van een aantal facetten, die in 'de chemische fabriek' een grote rol spelen. Niet alles is te berekenen, onzekerheden zullen uw deel zijn en extrapolaties en beredeneerde veronderstellingen zullen vaak de basis van uw beslissingen moeten zijn. Voorzichtigheid hierbij is geboden; als u de wet van Arrhenius toepast op een kipeei en van een reactietijd van 3 weken bij 35°C overgaat naar 10 min. op 100°C , is het resultaat zeker niet hetzelfde. Ik hoop met vrucht samen met u te kunnen werken. Verwacht echter geen pasklare antwoorden op de vele vragen, die bij het werk zullen rijzen; het leren oplossen is het doel, niet het oplossen leren. Zie mij dan ook als klankbord voor uw eigen creatieve gedachten.

Literatuur:

1. The Chem. Eng., September 1968, blz. CE 274.
2. Chem. Techn. 21, April 1969, blz. 209.
3. Budford D. Smith, Chem. Eng. 6 Mei 1968, blz. 177.
4. B. Bock and J. Farkas, Concentration and Productivity. 1969 Nat. Industr. Conf. Board.
5. Chem. Week, 3 Mei 1969, blz. 33.
6. W. B. Hirschmann, Harvard Business Review Jan./Febr. 1964, blz. 125.
7. L. Axelrod, Chem. Eng. Progress 64, July 1968, blz. 25.
8. K. L. Enders, Chem. Techn. 21, Okt. 1969, blz. 624.

Tekeningen: H. W. Saeys