

De mens en de chemische technologie

Citation for published version (APA):

Thoenes, D. (1980). De mens en de chemische technologie. Eindhoven: Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1980

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

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

[Link to publication](#)

General rights

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

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

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

www.tue.nl/taverne

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

De mens en de chemische technologie

Rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van
gewoon hoogleraar in de Fysische Technologie aan de
Technische Hogeschool Eindhoven op vrijdag 7 maart 1980
door dr. ir. D. Thoenes.

'Technologie is de leer der handelingen waardoor de mens de voortbrengselen der natuur tot stoffen verwerkt ter bevrediging van zijn behoeften' (Van Dale). Wanneer de mens daarbij de scheikunde toepast, spreken wij van scheikundige of chemische technologie.

Wanneer wij ons hier nu gaan bezinnen op de relatie tussen de mens en de chemische technologie, dan wil ik daarbij niet uitgaan van het gezichtspunt van de leer zelf, zoals dat in wetenschappelijke kringen gebruikelijk is, doch van het gezichtspunt van de handelingen die de mens verricht.

De mens die technisch handelt en de mens die de behoeften formuleert zijn overigens niet altijd dezelfde, zoals men uit de definitie van Van Dale zou kunnen afleiden. In hun onderlinge relatie schuilt een belangrijke problematiek van onze huidige samenleving, waarop ik later zal terugkomen.

Om deze problematiek niet te verwarren met de technologie zelve, wil ik eerst stilstaan bij de mens die de chemische techniek bedrijft ter bevrediging van zijn eigen behoeften. Dat is de mens die eten kookt, koffie zet, een sigaret rookt, zijn verwarming stookt, zijn kleren wast, vuurwerk afschiet, die zijn huis schildert, die lijmverbindingen maakt, of die achter het auto-stuur zittend het gaspedaal bedient. In al deze voorbeelden zien wij het wezen van het chemisch-technisch handelen in bijna al zijn belangrijke consequenties. De mens past een grondstof toe in een bepaald proces, hij verkrijgt een voor hem nuttig produkt en er ontstaan storende bijprodukten. De grondstoffen die men verbruikt, moeten van elders worden aangevoerd. Ook wordt dikwijls energie in een of andere vorm gebruikt; soms gaat men uit van elektrische energie van het publieke net, in andere gevallen wordt een brandstof verbruikt en uiteindelijk wordt alle energie als warmte aan de omgeving afgestaan. In vrijwel alle gevallen ontstaan storende bijprodukten. Een deel daarvan wordt op een of andere wijze verwerkt en onschadelijk gemaakt, een deel komt in het milieu terecht en is hinderlijk of schadelijk voor de mens. De mens die de techniek bedrijft ter bevrediging van zijn eigen behoeften, neemt de eventuele hinder of schade die hij veroorzaakt op de koop toe. De andere mens, die niet direct profiteert van dit technisch handelen, ervaart alleen de storende effecten.

Naast de individuele mens die de techniek bedrijft voor zichzelf, kennen wij de gemeenschappen van mensen die gezamenlijk werken aan de bevrediging van de behoeften van velen. Ik denk daarbij aan de industrieën, de openbare nutsbedrijven, de transportondernemingen e.d.

Er zijn enkele wezenlijke verschillen tussen de individuele en de collectieve beoefenaren der chemische techniek. Laatstgenoemden onderschei-

den zich door een aanpak op grotere schaal, alsmede door een zekere mate van taakverdeling en specialisatie. Daardoor kunnen zij efficiënter en ook professioneler werken. De gevolgen zijn velerlei. Vergeleken met het individu kan de industrie goedkoper produceren en kan zij een groot aantal kennis-intensieve produkten maken die een mens alleen niet kan maken. Gelukkig zijn er toch nog enkele gebieden overgebleven waarop de individuele mens nog altijd onovertroffen is waar het de kwaliteit van produkten betreft. Ik denk daarbij graag aan de kwaliteit van de produkten van de fijne keuken!

Maar in het algemeen is er een steeds toenemend verschil in professionalisme tussen het technisch handelen van de industrie en dat van de privé-persoon. Wij zien de gevolgen vooral op de gebieden van grondstoffen- en energieverbruik, veiligheid en milieubelasting. Op al deze terreinen kan de industrie veel hogere eisen aan zichzelf stellen dan de privé-persoon dit kan. Het gevolg is dan ook dat tegenwoordig de belangrijkste maatschappelijke problemen op deze gebieden in de particuliere sector liggen. Dit wordt nog niet door ieder herkend, maar is voor een algemene beschouwing over de chemische technologie van groot belang.

Door velen wordt de industrie nog altijd gezien als de grote milieubederver. Dit subjectieve gezichtspunt heeft de volgende achtergronden.

De afvalstoffen van een fabriek komen plaatselijk en in relatief geconcentreerde vorm vrij. Daardoor zijn ze opvallend en kunnen ze plaatselijk extra storend zijn. De afvalverwerking kan daardoor echter tevens doeltreffend worden aangepakt, wat dan ook op veel plaatsen is gebeurd.

Een tweede achtergrond is een psychologische. Zoals ik al zei, ervaart de individuele bedrijver der techniek zelf geen hinder van zijn handelen. Wanneer in een dorp een bakkerij brood bakt voor allen, wil men eventuele hinder nog wel over het hoofd zien. Maar wanneer een fabriek op grote schaal een grondstof produceert die verwerkt wordt in produkten die iedereen gebruikt, dan is de afstand tussen producent en consument veel groter geworden. Bovendien produceert de fabriek niet alleen voor de omwonenden. Dezen nemen maar een klein deel van de produktie af, doch ervaren alle hinder. Zij voelen dan ook geen band met de producent en hebben weinig tolerantie voor storende neveneffecten van de produktie.

In de privé-sfeer ligt dit juist andersom. De individuele bedrijver der techniek stelt prijs op een ruime vrijheid van handelen en verwacht daarbij van zijn medemensen een hoge graad van tolerantie voor de hinder en schade die hij veroorzaakt. Dit geldt niet alleen voor de afvalprodukten maar ook

voor de lawaai-overlast en het gevaar die hij met zijn technisch handelen veroorzaakt. Daarbij komt het feit dat al deze vormen van overlast verspreid en tussen de mensen ontstaan, waardoor ze extra hinderlijk en extra moeilijk te bestrijden zijn.

De individuele mens die de chemische techniek bedrijft, produceert hierbij verschillende soorten afvalprodukten. Vaste afvalstoffen en afvalwater worden in onze samenleving centraal afgevoerd en verwerkt. De gemeenschap heeft hier weer de taken van het individu overgenomen en hier zien we dan ook weer de voordelen van een professionele aanpak. Er zijn bijvoorbeeld processen in ontwikkeling (waaraan wordt bijgedragen door deze TH) om huisvuil fysisch te scheiden in verschillende fracties, zoals plantaardig afval, papier, plastic en metaal, die elk weer een eigen toepassing kunnen vinden. Ook op het gebied van afvalwaterzuivering wordt voortdurend gewerkt aan nieuwe ontwikkelingen (ook op deze TH). In principe zijn zeer vergaande zuiveringen technisch mogelijk.

Wij zien dat er, in contrast met deze filosofie, overal in het land vast afval wordt neergeworpen door privé-personen, die dit heel gewoon vinden. Het is merkwaardig dat deze beide opvattingen naast elkaar blijven bestaan. Deze vervuiling heeft zelfs dusdanige vormen aangenomen, dat er serieuze voorstellen bestaan voor verpakkingsmaterialen van biologisch afbreekbare kunststoffen. Mijns inziens zijn we dan werkelijk te ver de verkeerde weg ingeslagen!

Ernstiger is het overigens gesteld met de gasvormige bijprodukten van het technisch handelen der individuele mens. Deze worden als regel ongezuiverd in de lucht afgevoerd, soms in de atmosfeer, soms zelfs binnenshuis. Etensluchtjes worden nog wel met een ventilator afgezogen, maar de manier waarop in huishoudens gewoonlijk met oplosmiddelen wordt omgesprongen, zou op een laboratorium ondenkbaar zijn. Uitlaatgassen van motorvoertuigen en tabaksrook zijn echter voor de mens ongetwijfeld de gevaarlijkste, vanwege hun samenstelling en door de relatieve hoeveelheden waarin ze voorkomen in de lucht die door mensen wordt ingeademd. Er is inderdaad een schrille tegenstelling tussen enerzijds de inspanningen die worden gedaan om de verontreiniging van de atmosfeer tegen te gaan en, anderzijds, de onverantwoorde wijze waarop de lucht waarin wij leven en werken op grote schaal wordt verontreinigd door de acuut hinderlijke en giftige bestanddelen van tabaksrook.

Wanneer wij de overige risico's van ons technisch handelen bezien, dan moeten we vaststellen dat de onveiligheid van het wegverkeer alle andere risico's verre overtreft. Nergens anders schiet de technisch handelende

mens zo ernstig tekort tegenover zijn medemensen. Dit dient ons allen met de grootste zorg te vervullen. Een andere vorm van schade die wij elkaar toebrengen en waarvan het effect nog niet in zijn volle omvang is te overzien, is de alom aanwezige lawaai-overlast die veroorzaakt wordt door bestuurders van motorvoertuigen.

En wat het energieverbruik in onze samenleving betreft komen we tot een analoge conclusie: verreweg de grootste verkwisting van energie vindt plaats in de privé-sector, namelijk bij de verwarming van slecht geïsoleerde huizen en door de onbesuisde manier van autorijden die tot onze cultuur schijnt te behoren.

Het is duidelijk dat bij elk van deze problemen gezocht moet worden naar hetzij inperking van de vrijheid van technisch handelen van het individu, hetzij naar technische voorzieningen om de nadelige effecten te bestrijden. Een voorbeeld. In openbare ruimtes en in werkruimtes zal óf het roken moeten worden beperkt óf er zal een effectieve luchtbehandeling moeten worden toegepast. Hierbij kunnen methoden door de chemische technologie worden aangedragen, bijvoorbeeld adsorptieprocessen. De keuze heeft wel te maken met geld.

Voor de overige problemen die ik noemde, liggen analoge keuzemogelijkheden. Er zijn meestal technische oplossingen mogelijk, die soms veel geld kosten. Daarom is er allereerst een nadere bezinning nodig op de functie van het technisch handelen in al zijn consequenties. Dit zou kunnen leiden tot een mentaliteitsverandering.

Het is niettemin merkwaardig dat ook uit technologisch oogpunt de moderne mens op zo veel terreinen tekort schiet. Wanneer de huidige stand der techniek overal in het privé-leven zou worden ingevoerd, zouden er in Nederland per jaar miljarden guldens en waarschijnlijk enkele honderden mensenlevens gespaard kunnen worden. Waarom gebeurt dit niet? Allereerst blijkt dat de *individuele mens niet beschikt over meetmethoden om de effecten van zijn technisch handelen te onderzoeken*. Daardoor is hij ook niet in staat om optimale bedrijfsomstandigheden te vinden. Evenmin is hij toegerust om de beste keuze te maken uit de op de markt aangeboden grondstoffen, materialen en apparaten.

Belangrijk in dit verband is het werk van consumentenorganisaties, die steeds meer de techniek in dienst stellen van de privé-persoon. Ook is er een aantal overheidsdiensten dat een dergelijke rol speelt, zoals de Keuringsdiensten voor Waren. Er kan echter op dit gebied nog zeer veel meer worden gedaan. Kennelijk is de financiering van dit soort werkzaamheden

in onze samenleving een nog niet voldoende opgelost probleem. Bij een grotere bewustwording van het publiek is er zeker een rol weggelegd voor commerciële ondernemingen.

Als conclusie wil ik stellen dat er in de privé-sector in principe een groot werkteerrein ligt voor chemische en andere ingenieurs.

Wanneer wij over toepassing der chemische technologie spreken, denken we gewoonlijk aan de industrie, omdat juist daar het technisch handelen professioneel plaats vindt. Wat de chemisch ingenieurs hier in de eerste plaats verwezenlijkt hebben, is het op grote schaal fabriceren van synthetische produkten, welke in onze dichtbevolkte wereld onmisbaar zijn geworden, zoals kunstmeststoffen, vloeibare brandstoffen, plastics en kunstvezels, geneesmiddelen, landbouwchemicaliën enz. De nadruk lag lange tijd op de problematiek der schaalvergroting. De chemisch ingenieur verricht hiervoor experimenteel onderzoek in proefinstallaties, die essentiële kenmerken dragen van een produktiefabriek, en maakt proceskundige berekeningen om het gedrag van de processen op grote schaal te voorspellen. In andere gevallen gebruikt hij deze berekeningen om de voor een gewenst effect benodigde apparaten te ontwerpen.

In de laatste tien jaar is de nadruk van het werk van de chemisch ingenieur enigszins verschoven van schaalvergroting naar optimalisatie van processen en produkten.

Met de grote voortvarendheid waarmee in de jaren '50 en '60 op reusachtige schaal fabrieken zijn gebouwd, en vanwege nieuwe technische mogelijkheden, en vanwege de exponentieel stijgende behoeften in de wereld, is de aandacht voor de kwaliteit van processen en produkten wel eens op de tweede plaats gekomen. Bij nader inzien bleek er een aanzienlijke ruimte voor verbetering.

Allereerst zien wij een steeds voortgaande behoefte aan verbetering van de kwaliteit van industriële produkten, ook waar het bulk-produkten betreft. Dit komt doordat de klant steeds meer kennis vergaart over de processen waarin hij deze produkten verder verwerkt. Vroeger maakte men onderscheid tussen 'specificatie'- en 'performance'-produkten; nu kan men bijna alle chemische produkten met recht 'performance'-produkten noemen. Kwaliteit in de ruimere zin van het woord omvat niet alleen de fysieke samenstelling van het produkt, maar ook specifieke kennis van het gedrag bij toepassing.

Wanneer het produkt een vaste stof is, zijn vorm en grootte van de deeltjes een belangrijk aspect van de kwaliteit, afhankelijk van de toepassing. Vormgeving van vaste stoffen is lange tijd een wat verwaarloosd ambacht

geweest, maar komt nu meer in de belangstelling van chemisch-technologen te staan.

Soms kan door beheersing van kristallisatieprocessen een gewenste vorm en grootte van korrels worden verkregen, zoals bij de bereiding van zout en suiker. Voor een aantal praktische toepassingen zijn echter vaak grotere deeltjes nodig dan door kristallisatie kunnen worden verkregen; men maakt dan gebruik van speciale vormgevingsprocessen.

Bij sommige processen gaat men uit van een smelt of een geconcentreerde oplossing, die men zodanig laat vast worden dat er tenminste één afmeting bij voorbaat bepaald is. Met behulp van koelwalsen ontstaat dan een vlies dat wordt gebroken tot vlokken. In een extrusiemachine ontstaan draden die tot stukjes worden gesneden of gebroken. In een priltoren ontstaat een hagelbui van druppels die tijdens de val vast worden. In een aantal gevallen wordt vooraf een bindmiddel toegevoegd om kleine kristallen bijeen te houden.

Bij een ander type processen gaat men uit van de fijnkorrelige vaste stof, waarvan de deeltjes tot agglomeraten worden samengevoegd, veelal met behulp van een bindmiddel. Daarbij wordt soms gebruik gemaakt van druk, bijvoorbeeld in een tablettenpers, een walsenpaar of een extrusiemachine. Soms kan het zonder druk in een granuleerapparaat.

Om in een bepaalde situatie te komen tot de meest geschikte vormgeving, moet men kennis hebben van drie dingen: de fysische eigenschappen van de stoffen, de mogelijkheden van de verschillende vormgevingstechnieken en de eisen die gesteld worden door de toepassing van het produkt. Op alle drie gebieden kan nader onderzoek gewenst zijn.

In dezelfde tijd dat men hogere eisen ging stellen aan produkten, konden er ook hogere eisen worden gesteld aan de zuiverheid van afvalstromen. Dit kwam vooral doordat de analytici apparatuur ontwikkelden waarmee men nu automatisch concentraties bepaalt op niveaus die enkele machten van 10 lager liggen dan zo'n tien jaar geleden mogelijk was. Verder werden er geavanceerde technische scheidingsprocessen ontwikkeld, o.a. gebaseerd op kristallisatie, sorptie, membraan-diffusie en elektrolyse. In feite worden er zo door de industrie afvalproblemen opgelost voordat iemand hinder of schade heeft kunnen ervaren.

Daarnaast zijn er belangrijke ontwikkelingen geweest betreffende de uitvoering op grote schaal van chemische reacties. Eerst hebben we in de jaren '50 en '60 enige spectaculaire doorbraken gezien op het gebied van de katalyse, waarbij het mogelijk werd om bepaalde koolwaterstoffen in één keer om te zetten in interessante chemische produkten (bijv. door oxy-

datie of ammoxydatie). Daarna kwam de steeds verdergaande schaalvergroting. Maar de recente ontwikkelingen zijn meer gericht op verhoging van de chemische rendementen. Daardoor wordt de afvalproductie vermindert, terwijl men tevens bespaart op grondstoffen.

Dit is allereerst mogelijk gemaakt door ontwikkelingen in de katalyse. Maar ook de uitvoeringsvorm blijkt soms van belang te zijn. Door betere beheersing van warmte- en stoftransportverschijnselen kunnen in bepaalde gevallen ongewenste nevenreacties worden onderdrukt. Of, eenvoudiger gezegd, door beter roeren en koelen krijgt men een zuiverder produkt. Bij hoogwaardige produkten zoals kunststoffen kan dit tot uiting komen in de kwaliteit van het eindprodukt.

De chemisch ingenieur van vandaag is niet meer in de eerste plaats bezig met het ontwerpen van nieuwe en grotere fabrieken. Hij richt zijn aandacht vooral ook op bestaande fabrieken, die ontworpen zijn in perioden van minder geavanceerde technologie. Zo is er een werkgebied ontstaan dat ik graag betitel als: 'research in chemische fabrieken'.

Chemici zijn gewend om research te zien als iets dat men in het laboratorium uitvoert. Men gaat daarbij uit van de gedachte, dat men een verschijnsel wil onderzoeken dat los gezien kan worden van de apparatuur waarin het is onderzocht. Een beschrijving van zo'n verschijnsel heeft dan universele betekenis. De experimenten moeten dienovereenkomstig worden ingericht. Wanneer wij de resultaten van zulk laboratoriumonderzoek, of van onderzoek beschreven in de literatuur, willen gebruiken om het gebeuren in een fabrieksapparaat te beschrijven, dan blijkt dat wij informatie tekort komen. In het fabrieksapparaat treden namelijk meestal allerlei verschijnselen tegelijk op, waarvan de relatieve effecten afhankelijk zijn van de afmetingen van de apparatuur. De fabriek is overigens met opzet zo ontworpen, met de bedoeling om zoveel mogelijk produkt per volume-eenheid te kunnen produceren. Het gevolg is wel dat we nooit nauwkeurig de laboratorium-omstandigheden naar de veel grotere schaal kunnen extrapoleren. Bij deze zogenaamde 'schaalvergroting' zijn onnauwkeurigheden van meer dan 10% niet ongewoon. Men kan daarom ook een andere methode toepassen, namelijk het onderzoeken van de verschijnselen ter plaatse, in de reële situatie. In andere natuurwetenschappen zoals de biologie en de geologie spreekt men over onderzoek 'in het veld'. De mogelijkheden om in een werkende chemische fabriek experimenteel onderzoek te doen zijn de laatste jaren enorm toegenomen, dank zij ontwikkelingen in analysetechnieken en gegevensverwerking met behulp van kleine computers. Omdat men steeds de effecten van een groot aantal verschijnselen tegelijk meet,

moet men veel metingen doen en veel gegevens verwerken. Weliswaar zijn de mogelijkheden tot het variëren van onafhankelijke variabelen in een werkende fabriek beperkt, maar dan zijn de gebieden van variaties waarin men is geïnteresseerd, in veel gevallen ook beperkt. Van groot belang is dat de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van zulk experimenteel onderzoek in fabrieken veel groter is dan van extrapolatie gebaseerd op laboratorium- en proeffabriekonderzoek. Het blijkt dat men bij veel fabrieken op deze wijze een optimale procesconditie nauwkeuriger kan benaderen en daarmee procenten kan besparen op grondstoffen- en energieverbruik. Ook kan het mogelijk zijn dat men een gunstiger optimum vindt dan waarvoor de fabriek ontworpen is, omdat het ontwerp immers de onnauwkeurigheden van extrapolaties in zich kan meedragen. Tenslotte kan men langs experimentele weg andere optima vinden die verband houden met gestegen energieprijzen, strengere milieu-eisen of hogere produktkwaliteiten.

Om een chemische reactor te optimaliseren maakt men gebruik van een beschrijving in modelvorm. Deze is niet alleen gebaseerd op experimentele gegevens die men aan die reactor heeft gemeten, doch ook op technologische kennis verkregen door onderzoek op kleinere schaal. Ik wil twee soorten onderzoek kort bespreken.

Gecombineerde effecten van chemische reactie en transportverschijnselen kunnen goed op laboratoriumschaal onderzocht worden, indien de essentiële processen zich afspelen binnen een relatief klein volume-element. Deze aanpak is vooral succesvol bij reacties aan vaste katalysatoren, in gasbelwassers, gevulde kolommen, trickle-flow-reactoren e.d. Niettemin zijn de resultaten van zulk onderzoek meestal niet zonder meer overdraagbaar naar grotere reactoren, vanwege de concentratie- en temperatuurgradiënten die kunnen optreden tengevolge van transportbeperkingen op de schaal van de grote reactor.

Men kan de fysische transportverschijnselen die in reactoren optreden ook afzonderlijk onderzoeken. Hiermee kan men wetmatigheden vinden betreffende reactortypes die geldig zijn over een groot bereik van variabelen. Jammer genoeg ontbreekt meestal een verificatie op werkelijk grote schaal. Een verdere beperking van zulk onderzoek is gelegen in het feit, dat transportverschijnselen zelf ook beïnvloed kunnen worden door het optreden van chemische reacties. Er zijn voorbeelden bekend waarbij stofoverdracht aan vaste oppervlakken enige malen werd versneld door de sterke temperatuurgradiënten, die het gevolg waren van optredende chemische reacties. Ook stofoverdracht door gas-vloeistofgrensvlakken kan worden beïnvloed door de aanwezigheid van een chemische reactie, bijvoorbeeld

tengevolge van grensvlakturbulentie.

De types onderzoek die ik hier schets, zijn bij uitstek het werkterrein van de chemisch ingenieur. Hij past de wetenschappelijke methode toe bij het technisch handelen. Overigens zijn hierbij nog enige andere dingen onmisbaar, met name gezond verstand, intuïtie en ervaring.

Op een Technische Hogeschool kan men zich in de eerste plaats bekwaamen in de wetenschap, de technologie, die men echter per definitie alleen buiten de hogeschool kan toepassen. Wij moeten derhalve bij het onderwijs in de technologie het technisch handelen nooit te ver uit het oog verliezen.

Een van de kenmerken van het technisch handelen is dat men een doel voor ogen heeft en het middel daarbij aanpast. De wetenschap houdt zich bezig met het middel, en bij een systematische studie wordt dit steeds verder naar onderdelen opgesplitst. We zien dan ook dat allerlei elementen van de chemische technologie diepgaand zijn bestudeerd en dat dit bestuderen een vak op zichzelf is geworden.

Het studieprogramma is naar de aard der wetenschappen in zulke elementen opgedeeld, daar dit de enige manier is om elk element te doorgronden. Het is echter een tragisch misverstand, wanneer een student zo'n element, een vak uit zijn studieprogramma, aanziet voor een werkterrein van de chemisch-technoloog. De technologie is altijd gericht op een doel, hetgeen bijna altijd een integratie van wetenschappelijke elementen met zich meebrengt.

Hoogleraren worden benoemd bij Koninklijk Besluit om onderwijs te geven in een bepaald element van de wetenschappen. Het is een kenmerk van wetenschappelijk onderwijs dat het gepaard gaat met wetenschappelijk onderzoek, waaraan zowel docenten als studenten deelnemen. Het is echter een merkwaardige traditie van de Nederlandse universiteiten en hogescholen dat men het onderzoek bij voorkeur beperkt tot het nauwe terrein van het onderwijs.

Uit mijn voorgaande betoog over technologie volgt dat deze traditionele 'eenheid van onderwijs en onderzoek' in het algemeen voor Technische Hogescholen ongewenst is. Zeker, onderzoek op het smalle terrein van een studievak kan waarde hebben, vooral uit artistiek oogpunt. Maar wanneer wij ons op de TH's tot zulk onderzoek zouden beperken, dan zouden wij ons primaire doel, de opleiding van chemisch ingenieurs, bepaald niet bereiken.

Wanneer wij aan Technische Hogescholen toegepast onderzoek uitvoeren dat niet gebonden is aan een studievak, dan ontstaat er behoefte aan een

nadere bezinning op de doelstellingen van zulk onderzoek. Een dergelijke bezinning is allereerst nodig binnen de Afdelingen. Het is noodzakelijk dat zo'n bezinning leidt tot een onderzoekbeleid, dat getoetst kan worden aan externe doelstellingen. Het is vervolgens gewenst dat men deze doelstellingen bespreekt met de geldgever en dat deze richtingbepalend mag optreden. De Rijksoverheid kan door gebruik te maken van bestaande kanalen voor de 'tweede geldstroom' een onderzoekbeleid effectueren dat althans ten dele los staat van de onderwijsprogramma's. Maar ik wil daarnaast ook pleiten voor onderzoek aan de TH dat gefinancierd en dus gestuurd wordt door andere instanties, zoals TNO-instituten en industriële ondernemingen. Soms wordt wel eens betoogd dat een dergelijke gang van zaken ongewenst zou zijn, omdat dan de noodzakelijke vrijheid van het wetenschappelijk onderzoek zou worden beperkt. Ik wil dit nadrukkelijk tegenspreken. In de eerste plaats kan door externe opdrachten het aantal mogelijkheden voor onderzoek op de TH toenemen, waardoor de vrijheid van keuze toe- en niet afneemt. In de tweede plaats bestrijd ik de noodzaak van volledige vrijheid van onderzoek. Wanneer men onderzoekers confronteert met problemen die om een oplossing vragen kan dit de creativiteit stimuleren. Uit de wisselwerking tussen mensen met verschillende denkramen komen vaak de meest originele ideeën naar voren. Ook binnen probleemgericht denken heeft een onderzoeker nog een ruime vrijheid om wegen te zoeken die naar het gewenste doel leiden. De te ver doorgevoerde vrijheid van onderzoek in de universitaire wereld leidt echter tot een versnippering van capaciteiten en tot een geringe neiging tot samenwerken. Het zou interessant zijn om eens een vergelijkende studie te maken van de creativiteit van onderzoekers in universitaire en industriële research-laboratoria.

Niet alle soorten onderzoek lenen zich voor uitbesteding aan Technische Hogescholen. Voor ontwikkelingsprojecten zijn de TH-laboratoria in het algemeen niet ingericht; bovendien ontbreekt daarvoor op de TH de benodigde markt-oriëntatie. De TH is wel ingericht voor achtergrond-onderzoek en verkennend onderzoek. Achtergrond-onderzoek zou bij voorkeur gericht moeten zijn op bestaande technische werkwijzen, die in principe beter kunnen, bijvoorbeeld de vormgeving van vaste stoffen. Verkennend onderzoek zou bij voorkeur gericht moeten zijn op chemische processen die nu nog niet economisch interessant zijn, maar dit in de toekomst zouden kunnen worden, bijvoorbeeld door verandering van grondstoffen-situaties. Men kan denken aan processen op basis van steenkool of bepaalde laagwaardige ertsen.

Het element waarin ik onderwijs mag geven, heet 'fysische technologie', dat is in ons jargon een klein onderdeel van de chemische technologie (dit wil niet zeggen dat de fysica een onderdeel is van de chemie; volgens sommigen is het juist andersom). Fysische technologie wordt tegenwoordig meestal proceskunde genoemd. Het betreft het hanteren van stoffen met het doel de waarde voor de mens te verhogen. De voorbeelden die ik noemde op het gebied van afvalzuivering, vormgeving van vaste stoffen en chemische reactoren, horen alle tot de proceskunde.

Ik heb geprobeerd te laten zien dat een chemisch ingenieur als regel meerdere vakken tegelijk toepast. Naast de proceskunde heeft hij meestal te maken met de mechanismen en de kinetiek van chemische reacties, met de katalyse, met structuren en eigenschappen van producten en materialen. Voor alles wat hij wil meten heeft hij de chemische analyse nodig. Voor modellen die hij nodig heeft bij ontwerpen en optimaliseren, gebruikt hij de wiskunde. Het is gewenst om tijdens een ingenieursopleiding de principes van dergelijke vakken te leren alsmede iets over de toepassingsmogelijkheden te hebben ervaren. Aan de discussie over de cursusduur van de ingenieursopleiding wil ik in dit verband het volgende toevoegen.

De cursusduur dient mijns inziens niet te worden bepaald door de hoeveelheid leerstof die studenten zouden moeten verwerken, maar door het niveau van integratie dat zij zouden kunnen bereiken. Men moet nu eenmaal eerst bepaalde vakken verwerkt hebben om andere te kunnen leren. Daar de praktijk heeft uitgewezen dat een semester (een half studiejaar) minimaal nodig is om een studievak van beperkte omvang te verwerken, kan men hieruit afleiden welk integratieniveau men in een bepaald aantal jaren kan bereiken. Ervaringen in de Angelsaksische landen en ook bij het Nederlands technisch hoger onderwijs hebben uitgewezen, dat het mogelijk is dat studenten, uitgaande van een elementair aanvangsniveau, in 4 jaar een niveau kunnen bereiken waarmee zij aan echte chemisch-technologische problemen kunnen werken, weliswaar in samenwerking met anderen. Om geheel zelfstandig problemen op te lossen van een complexiteit zoals men die in de praktijk meestal tegenkomt, is toch als regel een aantal jaren ervaring nodig, ook al heeft men een langere vooropleiding.

Op de vraag of het nu beter is om na een vierjarige studie in de praktijk te gaan werken dan wel aan een hogeschool of universiteit verder te studeren, is mijns inziens geen algemeen geldig antwoord te geven. Het werken in een professionele omgeving, zoals research- en ontwikkelingslaborato-

ria bij grote ondernemingen of bij TNO, kan een grote vormende waarde hebben. Anderzijds is het niet vanzelfsprekend dat lange tijd studeren aan een instelling voor wetenschappelijk onderwijs voor ieder even waardevol is. Een opvallend nadeel hiervan is de relatieve geïsoleerdheid tijdens de studie, terwijl de werker in het bedrijfsleven zich opgenomen weet in een stimulerende omgeving. Ook wanneer men in beide situaties studeert en onderzoek verricht, is de motivering hierbij als regel zeer verschillend.

Het lijkt mij daarom dat veel ingenieurs er voor hun persoonlijke ontplooiing beter aan doen om na een zo kort mogelijke dagstudie de praktijk in te gaan, en later af en toe verder te studeren op door hen zelf gekozen gebieden. Studenten met een uitgesproken wetenschappelijke begaafdheid kunnen zich waarschijnlijk het beste ontplooiën door langdurig en geconcentreerd te studeren. Het voorstel voor een 'tweefasen-structuur' voor het wetenschappelijk onderwijs lijkt mij dan ook, zeker voor de technologische studierichtingen, volkomen gezond. Het is nu de kunst om deze structuur zo verstandig mogelijk in te vullen, waarbij de student in de eerste fase vooral moet worden beschermd tegen de neiging tot specialisatie, die in onderwijskringen zo populair is.

Daarnaast zal de hogeschool de gelegenheid moeten aangrijpen om onderwijs van werkelijk hoog niveau te gaan verzorgen in een tweede-fase-programma. Ik geloof dat het noodzakelijk is dat het Nederlandse wetenschappelijk onderwijs weer eens op enig gebied gaat uitblinken.

Tenslotte zal er geleidelijk een uitgebreid systeem van postacademisch onderwijs opgebouwd moeten worden. Dat is vooral nodig in verband met de zich relatief snel voltrekkende veranderingen in de samenleving, en vanwege de behoefte van de individuele ingenieur om in deze veranderende wereld telkens weer zijn eigen weg te kunnen vinden.

Een van de wezenlijke problemen bij het wetenschappelijk onderwijs van nu, die nog te weinig aandacht krijgen, is de studiekeuze en motivatie van de aankomende student. Ondanks het vele dat er gedaan wordt aan beroepsvoorlichting, lijkt het of de meeste aankomende studenten een veel te beperkt idee hebben over het toekomstige beroep dat ze hebben gekozen, en van andere beroepen die ze met hun aanleg hadden kunnen kiezen. Ik denk dat onze samenleving er bij gebaat zou zijn, als meer jonge mensen een technologische of natuurwetenschappelijke studierichting zouden kiezen en ik denk dat velen het inderdaad zouden doen als ze er meer over zouden weten. Dit zou men trouwens indirect kunnen afleiden uit het feit dat er nog steeds zo weinig vrouwelijke studenten in deze studierichtingen zijn, wat nauwelijks verband kan houden met aanleg. Het is merkwaardig

dat, in een tijd waarin zoveel gesproken wordt over gelijke kansen voor vrouwen en mannen bij hun loopbanen, daar waar die kansen in feite gelijk zijn en waar de toekomstige loopbaan in beginsel wordt bepaald: bij de universitaire studie, de jonge vrouwen de geboden kansen nog steeds niet nemen! Hierdoor worden bestaande ongelijkheden in de maatschappelijke posities van mannen en vrouwen minstens nog eens enkele decennia gecontinueerd. Een en ander hangt waarschijnlijk ook samen met een wijd verbreid onbegrip over de betekenis en inhoud van de natuurwetenschappen en de technologie, niet alleen bij scholieren, maar ook bij hun ouders en bij leraren.

In de definitie van technologie die ik aan het begin gaf, kwam de bepaling voor: '... ter bevrediging van zijn behoeften' (van de mens). Reeds heb ik er op gewezen, dat naarmate de techniek meer afzonderlijk en gespecialiseerd wordt bedreven, zij verder af staat van de gebruiker. De communicatiekanalen van research via productie en verkoop naar de consument zijn lang en ingewikkeld. Systemen van overheidscontroles zijn nuttig, maar maken de communicatie tussen allen die bij de technologie betrokken zijn niet eenvoudiger.

Ik denk dat al deze geformaliseerde communicatiekanalen wel eens wat meer mogen worden kortgesloten door informele communicatie. Voor natuurwetenschappers en technologen ligt hier een duidelijke verantwoordelijkheid. En wel om er voor te waken dat we ons niet ingraven in onze specialistische wereldjes, maar ons vooral blijven verdiepen in de problemen van hen die de resultaten van ons werk zouden kunnen toepassen.

In het voorgaande heb ik voornamelijk gesproken over het gebruik van de chemische technologie, hier en nu, en ik heb daarbij de nadruk gelegd op de verbetering van de kwaliteit van processen en produkten.

Als we in de toekomst proberen te kijken, zien we dan het werkterrein van chemisch ingenieurs wezenlijk veranderen?

Het lijkt of de behoeften aan ontwikkelingswerk weer gaan toenemen. Allereerst vanwege de dringende problematiek betreffende de energievoorziening. Een kwantitatieve beschouwing leert dat we voor een deel moeten overschakelen op steenkool en kernenergie en zonne-energie, te beginnen in deze volgorde. Hiervoor zijn aanzienlijke chemisch-technologische inspanningen nodig. Bij verwerking van steenkool ligt de nadruk allereerst op schone procesvoering en daarna op de bereiding van vloeibare brandstoffen. Bij de toepassing van kernenergie lijkt mij, voor zover ik dat kan beoordelen, de ontwikkeling van hoogwaardige constructie-

materialen van belang. Voor toepassing van zonne-energie zullen geschikte materialen voor foto-chemische cellen moeten worden ontwikkeld. Ondertussen zal de petrochemische industrie doorgaan met produkten te maken op basis van aardolie, met verhoogde rendementen. Ontwikkelingen zijn te verwachten op het gebied van nieuwe kunststoffen met speciale combinaties van eigenschappen. Om in de toekomstige behoeften aan metalen te voorzien zullen nieuwe processen worden ontwikkeld waarmee laagwaardige ertsen kunnen worden verwerkt. Daarnaast zullen op grotere schaal syntheses met behulp van enzymen worden ontwikkeld, vooral voor de bereiding van geneesmiddelen. Voorts zal er nog veel veranderen in de voedingsmiddelenindustrie, vooral op het gebied van kunstmatig bereide voedingsstoffen.

Niet iedereen ziet dit soort ontwikkelingen met vreugde tegemoet. We moeten ons echter wel realiseren, dat de gehele problematiek waar de technologie van vandaag mee geconfronteerd wordt, betreffende tekorten aan voldoende rijke grondstoffen, energiebronnen en voedingsstoffen, en betreffende de aantasting van het milieu, uiteindelijk veroorzaakt wordt door het feit dat er nu vier en binnenkort zes miljard mensen op deze aardbol willen leven.

Er is geen weg terug.

Wij hebben geen andere humane keus dan de technologie zo verstandig mogelijk toe te passen.

In het voorgaande heb ik een beeld gegeven van terreinen waarop chemisch ingenieurs werkzaam kunnen zijn. Nu ik mij weer ga wijden aan de vorming van toekomstige chemisch ingenieurs, komt allerlei dat tot mijn eigen vorming heeft bijgedragen weer in herinnering. Ik denk daarbij met dankbaarheid terug aan mijn vroegere leermeesters, collega's en vooral medewerkers, respectievelijk bij de Technische Hogeschool te Delft, bij de Koninklijke Landmacht, bij de Staatsmijnen, bij de Technische Hogeschool Twente, bij Akzo Zout Chemie alsmede bij andere divisies van Akzo en aan allen met wie ik heb samengewerkt in het verband van de Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging. Van hen, en vooral in samenwerking met hen, heb ik veel geleerd over de chemische technologie. Terugblikkend meen ik dat een studie aan een universiteit of hogeschool, hoe belangrijk ook, niet meer kan zijn dan een begin, een aanzet tot verdere ontplooiing. Dames en heren studenten, ik hoop dan ook van harte dat de studie in de chemische technologie voor elk van U inderdaad een aanzet moge zijn tot verdere ontplooiing en dat U een vruchtbare loopbaan tegemoet zult gaan als chemisch ingenieur!