

## Scheiding en overdracht : van mensen, molekulen en magie

**Citation for published version (APA):**

Kerkhof, P. J. A. M. (1989). *Scheiding en overdracht : van mensen, molekulen en magie*. Technische Universiteit Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1989

**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](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

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

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# Scheiding en overdracht

Van mensen, molekulen en magie

Prof.dr.ir. P.J.A.M. Kerkhof

Uitgesproken op vrijdag 12 mei 1989 bij de aanvaarding van het ambt van gewoon hoogleraar in de fysische technologie aan de faculteit der Scheikundige Technologie van de Technische Universiteit Eindhoven.

Mijnheer de rector magnificus, dames en heren,

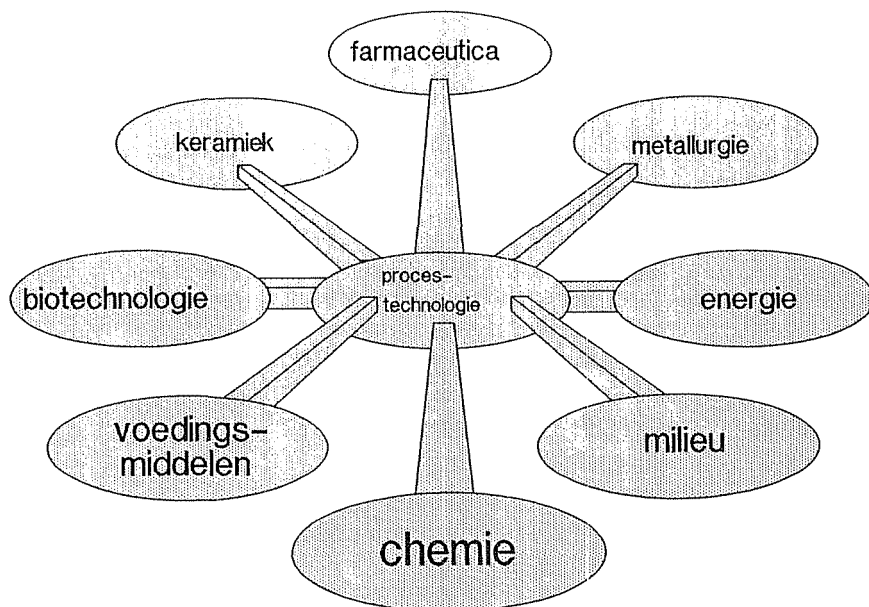
Enige tijd geleden heeft U in de dagbladen kunnen lezen, dat er in Nederland een tekort is aan procestechnologen en hoogleraren in de procestechnologie. Het aanvaarden van een leerstoel in de fysische technologie, een onderdeel van de procestechnologie, zou in dit licht wellicht als iets opmerkelijks gezien kunnen worden. Het afgelopen jaar echter zijn in ons land vier nieuwe hoogleraren in de proceskunde aangetreden, waaronder Uw spreker van heden. Dit maakt het iets minder bijzonder, zij het dat daardoor het tekort nog lang niet opgeheven is. Zoals de door Tels enige jaren geleden geslaakte verzuchting: 'Idealisten gevraagd' reeds aangeeft, is naast een aantal materiele voorzieningen ook een zekere bevlogenheid nodig om een dergelijke funktie te gaan vervullen. In het volgende wil ik U mijn visie op een aantal aspecten van het vakgebied uiteenzetten, en mijn fascinatie met betrekking tot dit vak met U trachten te delen. Als thema heb ik gekozen: 'Scheiding en Overdracht; van mensen, moleculen en magie'. Tevens zal ik U duidelijk maken dat het tekort aan technologen in werkelijkheid nog veel nijpender zal zijn dan nu geraamd wordt.

### **Procestechnologie op reis: de kaart**

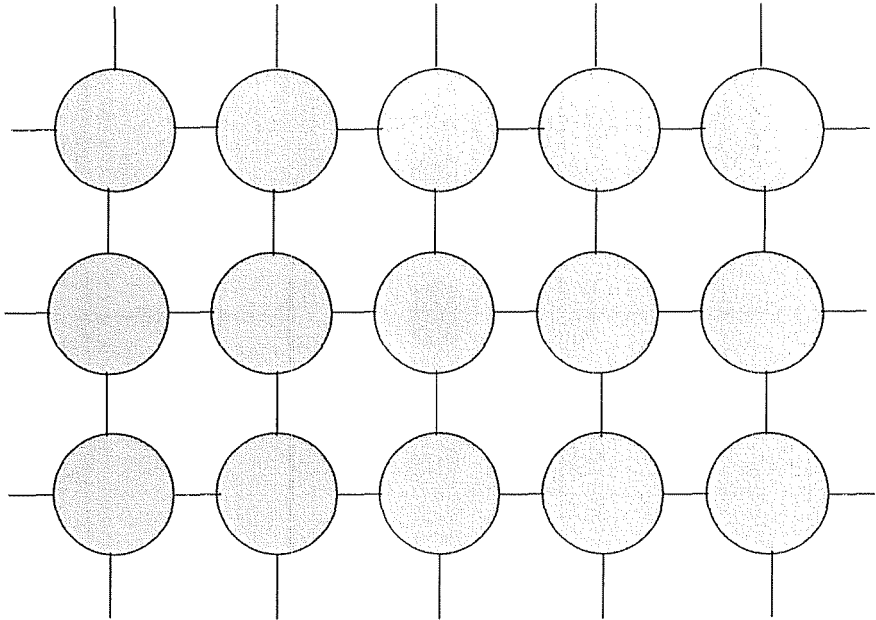
Er zijn verschillende manieren om een vak te beleven. In het vak van wetenschapper, en speciaal dat van de natuurwetenschapper, is een van de meest fascinerende aspecten dat van het zoeken naar en het vinden van verbanden, van harmonie en esthetiek in de wijze waarop de natuur zich aan ons manifesteert. Juist in de technologie opent dit mogelijkheden om de natuur ook aan ons dienstbaar te maken. Het zoeken kunnen we zien als een avontuur, met alle positieve en negatieve verrassingen van dien, als een reis naar min of meer onbekend gebied, waarbij we onderweg ons brood moeten zien te verdienen. Het gevoel dat nu voor de chemische technologie de tijd weer aangebroken is om dergelijke expedities te gaan ondernemen wordt weerspiegeld door de titels van een aantal belangrijke recente publikaties: 'Chemical Engineerings Grand Adventure', 'Chemical Reaction Engineering – quo vadis?', 'Frontiers in Chemical Engineering' [1-3]. Binnen het door mij gekozen onderzoekthema 'Scheidingstechnologie' zien we titels als 'Separations: New Directions for an Old Field', en 'Separation and Purification, Critical Needs and Opportunities' [4,5].

Het is een goed gebruik om voor de reis eerst een blik op de kaart te werpen. Hoe ziet het gebied van de procestechnologie er uit? Iets meer dan een jaar geleden is door Levenspiel in zijn lezing 'Chemical

Engineering's Grand Adventure' de taak van de procestechnologie omschreven in het simpele adagium: 'To come up with processes to make materials wanted by man', vrij vertaald als 'het leveren van processen om stoffen te maken die de mensheid wil'. Als een eerste eenvoudige benadering kunnen wij stellen dat uit een of meer grondstoffen via een chemische, biologische of fysische verandering in de samenstelling een of meerdere produkten worden bereid, vrijwel altijd vergezeld van al dan niet nuttig geachte nevenprodukten. Naast eisen aan de samenstelling worden aan produkten vaak ook eisen gesteld ten aanzien van structuur, oplosgedrag, sterkte, wel samengevat in het woord 'performance'. Ontwerpen, ontwikkelen en bedrijven van deze omzetting is het vakgebied van de proces-technologie. Bij veel processen is naast een chemische of biologische omzetting ook een fysische scheiding van stoffen nodig; in een aantal gevallen is dit zelfs de belangrijkste en soms de enige stap. In de procestechnologie houdt men zich dan ook bezig met de chemische en biologische omzetting, hieraan gekoppelde structurerering, en met de scheiding van stoffen, dit alles op industriële schaal.



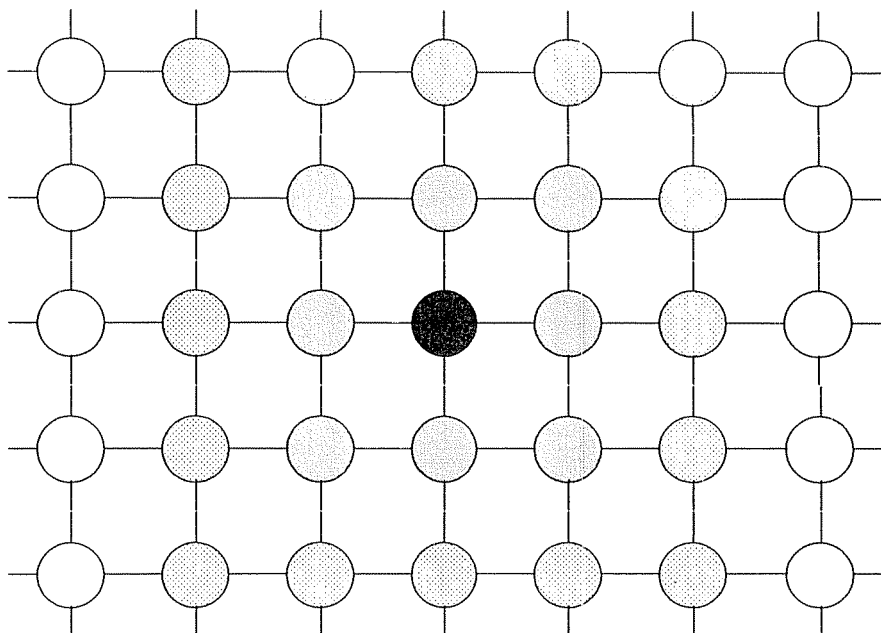
Figuur 1



*Figuur 2a*

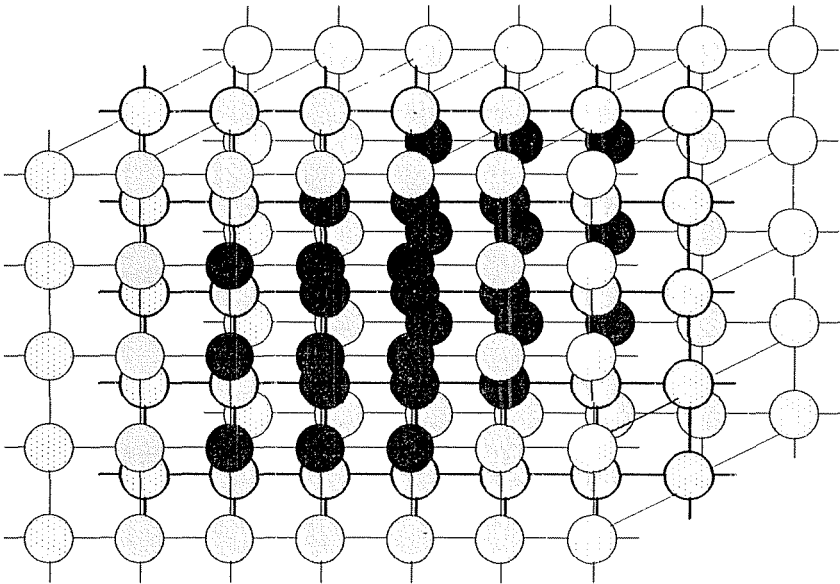
We zouden procestechnologie kunnen definiëren als de wetenschap waarmee het scala van bewerkingen om van grondstoffen naar eindproduct te komen via omzettingen en scheidingen, ontworpen en bedreven kan worden op basis van kwantitatief inzicht in datgene wat er in het proces gebeurt, op economisch en maatschappelijk optimale wijze.

Zoals in het voorgaande reeds gesuggereerd, kunnen we procestechnologie zien als een centraal vakgebied ten opzichte van een groot scala aan industriële activiteiten en technologieën. In deze tijd van subsidieaanvragen en nota's over belangrijke samenwerkingsverbanden is het gebruikelijk dat de wetenschapper de plaats van het eigen vak weergeeft in een fraaie illustratie. Ik wil hierin niet achter blijven, hetgeen geresulteerd heeft in Fig. 1, waarin de verbinding van de procestechnologie met een, onvolledig, aantal technologieën en industriële produktiewijzen is weergegeven. Om een beetje in het vak te blijven zou ik deze afbeelding het 'egocentrisch molekuul' willen noemen. Het zou arrogant kunnen lijken om het eigen vak zo centraal te stellen; dit is echter alleen maar menselijk. Procestechnologie is



*Figuur 2b*

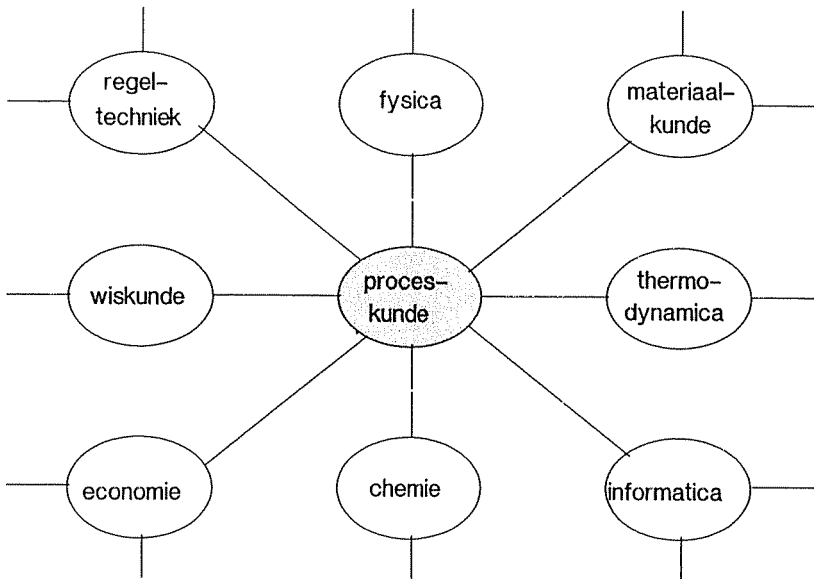
mensenwerk, en kan evenals de getoonde technologieën gezien worden als een van de vele menselijke activiteiten. Een simpele weergave van maatschappelijke activiteiten zou Fig. 2a kunnen zijn, waarin alle zaken een gelijke kleur hebben. Ik zou dit het 'typisch Nederlands molekuul' willen noemen. Het werkt echter niet zo; we zijn mensen, met een beperkte blik, en mede uit overlevingsdrift zullen wij altijd onze directe omgeving duidelijker beleven en waarnemen dan datgene wat verder weg ligt. Dit is in Fig. 2b weergegeven met het 'lokale koop molekuul'. Natuurlijk is de maatschappij nog veel ingewikkelder, en zijn er veel meer verbindingen tussen de activiteiten dan in het getoonde platte model. Een schetsje hiervan is in Fig. 2c gegeven, het 'gelaagde molekuul'. Als we nu met ons vak bezig zijn, ligt het voor de hand om ons juist in te spannen in het donker aangegeven terrein. De geschetste gelaagdheid in dit laatste molekuul is weliswaar schematisch, maar helpt ons om een scheiding in onze gedachten aan te brengen. In de technologie zouden wij de voorste laag kunnen zien als de praktische uitvoering en productie, de lagen daarachter als de wetenschappelijke kennis, in steeds verder gaande diepgang en abstractie.



*Figuur 2c*

Schematisch kunnen we de laag onder de procestechnologie, die van de basiswetenschappen uitbeelden als in Fig. 3. Ik heb hierin de proceskunde als centraal element neergezet met de opvatting: Proceskunde is de wetenschap van de kwantitatieve beschrijving van omzettings- en scheidingsprocessen en van de hierin optredende verschijnselen. We kunnen de proceskunde zien als een bron, waaruit de procestechnologie kan putten. Op dit niveau zien we een sterke interactie van de proceskunde met andere basiswetenschappen, we hebben van alles nodig.

Het is ook interessant om ons even te verdiepen in de functies die weergegeven worden door de balletjes en de balkjes. In een echt molecuul hebben we atomen, die met elkaar verbonden zijn door gemeenschappelijk gedeelde elektronen. In de menselijke beleving lijken deze verschillen ook te bestaan; om met elkaar te kunnen communiceren plakken we etiketten, en halen na verloop van tijd etiket en inhoud door elkaar. In werkelijkheid worden de verbindingen gevormd door mensen en hun activiteiten. Er is dus geen duidelijk verschil tussen de atomen en elektronen, maar zoals in de moderne fysica wordt de wisselwerking tussen twee deeltjes gevormd door een



*Figuur 3*

derde deeltje. De wegen op de kaart zijn even belangrijk als de steden waartussen ze liggen, het zijn menselijke molekulen.

### **Procestechnologie in beweging: het doel**

In het voorgaande was een essentieel facet niet in kaart gebracht, namelijk de dimensie tijd. Procestechnologie is sterk in beweging, in samenhang met de beweging van de industriële technologie. We zien nieuwe produkten ontstaan op het gebied van kunststoffen, keramiek en voedingsmiddelen. Biotechnologie en elektronica industrie zijn sterk gegroeid en nog groeiende. We stellen hogere eisen aan de uitstoot van stoffen naar het milieu, aan de hoeveelheid energie die gebruikt wordt, en worden geconfronteerd met het schaarser worden van grondstoffen. We hebben in ons milieu ook een erfenis uit het verleden in de vorm van gigantische verontreinigingen van water en bodem. Dit alles vraagt om aanpassingen en vernieuwingen in de industrie zowel van omzettings- als scheidingstechnieken. Voor tal van produkten is er een directe complexe relatie tussen produktkwaliteit en bereidingswijze. Op milieugebied zal voor saneringsoperaties en verwerkingstechnologie nog grotendeels een industrie ontwikkeld moeten worden. Een ander facet van de



ontwikkelingen is de opkomst van nieuwe werkwijzen, we kunnen hierbij denken aan membraantechnologie.

Opvallend is de enorme diversiteit van vragen die aan de procestechnologie vanuit deze ontwikkelingen gesteld worden, diversiteit zowel qua toepassingsgebied als qua kennisniveau. Een van de oorzaken is het feit dat uiteenlopende technologieën zich in verschillende stadia van proceskundige rijpheid bevinden. We kunnen stellen dat het grootste deel van de huidige chemische industrie als rijp te karakteriseren valt. Binnen dit gebied wordt het ontwikkelen en ontwerpen van nieuwe processen op basis van beginselen en kwantitatief inzicht als een natuurlijk streven ervaren. Ook bij een aantal fysica-gebaseerde technologieën vinden wij deze aanpak terug.

Er zijn echter ook technologieën die proceskundig gesproken nog in de kinderschoenen staan. Eén categorie hiervan wordt gevormd door uitgegroeide ambachtelijke terreinen; vaak reeds oude productieprocessen of werkwijzen die overleefd hebben en op empirische wijze in schaal vergroot zijn. Proefondervindelijke kennis, soms aangevuld met een verdieping op specifiek wetenschappelijk gebied voor de betreffende industrietak, kan ook zonder al te veel procesinzicht in veel gevallen reeds tot een bevredigend bedrijfsresultaat leiden. De proceskundige achtergronden worden dan niet als kritisch ervaren, en er wordt dan ook weinig aandacht aan besteed. Dit geldt in het bijzonder voor het scheidingsgedeelte in een breed scala aan industrieën. Een veel voorkomende figuur is het gebruik van uiteraard dure werktuigen, die min of meer uit traditie of uit beschikbaarheid op de markt zijn aangeschaft, zonder dat de hierin optredende fysische verschijnselen ook maar bij benadering zijn gemodelleerd of zelfs maar bekend zijn. Veranderende eisen aan produktkwaliteit, kostprijs, energie- en grondstofgebruik, milieueffecten, en vernieuwing van producten leiden tot een snel bereiken van grenzen van de meer klassieke technologie, hetgeen er vaak toe leidt dat apparaten niet langer volledig bruikbaar zijn.

Uit het voorgaande volgt dat we als gezamenlijk doel van technologische expedities kunnen stellen de vernieuwing en verbetering van processen, het vergroten van de kennis en de implementatie hiervan. De reis waar ik zelf aan deelneem heeft als doel het verbeteren en vernieuwen van de scheidingstechnologie. Het perspectief op de door ons in Eindhoven te ondernemen ontdekkingsreis is een onderdeel van een nationale en internationale tocht; het is een voorrecht deel te kunnen nemen aan de recente bundeling van krachten van zes universiteiten in Nederland binnen de

stichting Scheidingstechnologie Nederland, die op gezamenlijk initiatief van bedrijfsleven en academie tot stand is gekomen.

### **Op reis in scheidingsland: de aanvang**

In Nederland kennen wij het woord 'Scheikunde': het scheiden van stoffen. Uit het dagelijks leven kennen wij een aantal van deze processen, zoals het centrifugeren van wasgoed en het drogen hiervan, het zetten van koffie, het destilleren van alcohol. In de eerste gevallen verwijderen wij water, door gebruik van mechanische krachten of door warmte; bij het zetten van koffie halen wij oplosbare stoffen uit de gemalen boon door extractie met warm water. Bij het destilleren van alcohol uit waterige oplossing beogen we een minstens gedeeltelijke scheiding tussen de vluchtige alcohol en het minder vluchtige water. Het scheiden is reeds vele eeuwen lang een belangrijke bezigheid.

Uit de oude historie zijn bekend het isoleren van werkzame stoffen uit planten voor geneeskrachtige en andere doeleinden, en het winnen van metalen. Naast een aantal eerbare beroepen, zoals brouwer, smid en chirurgijn waren er ook wat meer suspecte lieden die zich met de magie en alchemie bezig hielden; een deel van hun activiteiten had betrekking op scheidingsprocessen.

Uit de bovengenoemde voorbeelden is te zien dat we voor een scheiding een *principe* nodig hebben: alcohol is vluchtiger dan water, de centrifugale kracht overwint de zuigkracht van het wasgoed. Tevens hebben we een *toestel* nodig, en we moeten het proces onder *geschikte omstandigheden* laten plaatsvinden: koffie zetten gaat beter met heet water dan met koud. In de keuze van het principe, het toestel en de omstandigheden zijn we min of meer vrij; er zijn echter begrenzingen aan wat we met de combinatie kunnen bereiken. Dit hangt voor een deel samen met het systeem dat we uit elkaar willen halen, en voor een deel met de gebruikte techniek. In de industrie is er een gigantisch scala aan stoffen die gescheiden worden; het aantal principes is gelukkig wat minder, maar nog wel groot. Het aantal toestellen is eveneens groot. De relatie tussen de werking van een toestel, het te scheiden systeem en de gekozen omstandigheden is niet altijd even goed bekend. In een aantal gevallen hangt ook de kwaliteit van het produkt af van het gekozen scheidingsproces, zoals bij de fabricage van instant-coffee: de wijze waarop we het extract drogen tot poederdeeltjes heeft invloed op de hoeveelheid aroma die behouden blijft.

De eerder genoemde algemene drijfveren tot vernieuwing in de technologie hebben ook hun weerslag binnen de scheidings-technologie. We kunnen hierbij denken aan verhoging van de

selectiviteit van scheidingen en van de te bereiken zuiverheidsgraad, verlaging van de energiebehoefte, nieuwe procesvormen voor vermindering van emissies, nieuwe methodieken voor zuivering van ons milieu, het opwerken van zeer verdunde oplossingen [4]. Hiermee gepaard gaat het verlangen naar verhoging van de capaciteit per eenheid van apparaatvolume. Daarnaast is ook het beter kunnen beschrijven voorwaarde voor vernieuwing van klassieke processen. In onze groep, maar gelukkig ook op andere plaatsen aan de universiteiten hebben we de vraag naar technologische duizendpoten, en soms naar alchemisten of magiërs vertaald in onze motivatie om in een 'Magical Mystery Tour' op zoek te gaan naar structuur en fundamenten in vaak zeer complexe mengsels, ook op gebieden buiten het veld van de chemische industrie, hetgeen ingewikkelde sterk vertakte problemen met zich mee brengt. In de onsterfelijke film 'Casablanca' komt in de eveneens onsterfelijke song de regel voor: '... the fundamental things apply, as time goes by'; juist in een sterk veranderende wereld geloven wij dat dit ook in de technologie van belang is. Anderzijds komen we nieuwe fundamentele vraagstellingen tegen: het magische spel van krachten, deeltjes en molekulen is nog lang niet gevangen. Het werken aan sterk verdeelde complexe systemen zal ons, en onze studenten in de 1e en de 2e fase en onze promovendi verder in staat stellen om de benaderingssystematiek op te bouwen en over te dragen: we leveren meer ervaren reizigers af voor toekomstige tochten buiten ons eigen stukje oerwoud, en publiceren onze reisverhalen.

### **Op zoek naar fundamenten en structuur: het drogen van klei**

Laat ik nu proberen een en ander te illustreren met enige voorbeelden uit het door mijn groep aangevangen onderzoekprogramma 'Scheidingstechnologie'. Een van de thema's hierin is ontwatering, waartoe enige projecten horen, op reeds enigszins belegen lijkende terreinen. Een ervan is de studie naar het drogen van kleivormingen, de gevormde kleimassa die eerst gedroogd moet worden alvorens gebakken te worden. Dit onderzoek zijn wij begonnen in samenwerking met TNO, dat reeds enige decennia onderzoek op het gebied van de baksteenfabricage verricht. Een van de bekende eigenschappen van klei is dat bij te snel drogen scheuren ontstaan ten gevolge van ongelijkmatige krimp en te grote daarbijbehorende mechanische spanningen. Een andere eigenschap is dat bij onvoldoende voordroging bij het bakken interne breuken in het materiaal op kunnen treden. Beide zaken zijn uiteraard reeds lang bekend. Er is echter een aantal nieuwe ontwikkelingen. Een ervan is de noodzaak om uit te gaan zien naar andere kleigronden, aangezien

de huidige hoogwaardige bronnen over enige tijd uitgeput zullen zijn. Door de andere samenstelling en deeltjesgrootte van andere kleisoorten drogen deze moeilijker; dit zou potentieel ondervangen kunnen worden door het gebruik van vulstoffen. Door hiervoor materialen als slak of vlieg-as te gebruiken, zouden deze afvalstromen ook nuttig hergebruikt kunnen worden. Een laatste ontwikkeling is de vraag naar modernisering van de drogerijen in de baksteenfabrikage, zowel wat betreft energiegebruik als wat betreft de wijze van intern transport. In de klassieke werkwijze werden de vormlingen gedroogd in een aantal droogkamers waar verschillende omstandigheden heersten; het transport vond plaats op karren die van de ene naar de andere kamer werden verplaatst. Met behulp van verplaatsbare ventilatoren wordt de drooglucht verdeeld over de vormlingen. Een moderne variant is het gebruik van continue tunneldrogers. Uit het oogpunt van energieefficiency is het gebruik van hogere luchttemperaturen aan te bevelen; bij te snel drogen echter treedt scheurvorming op. Dit is nog slechts een deel van de problematiek. Voor de proces-technoloog ligt hier een probleem om van te watertanden. In eerste instantie kunnen we het geheel zien als een ketenprobleem. Laten we starten bij het eindprodukt. De stevigheid, en ook de maat, na het bakken zijn het gevolg van de situatie in de vormling voor het bakken, en van de omstandigheden in de oven. De vorm, de vochtverdeling en de porositeit van de gedroogde vormling zijn het gevolg van de situatie voor het drogen en van het droogproces. Binnen dit droogproces hangt het verloop weer af van de lokale luchtsnelheid, temperatuur en vochtigheid. Deze hangen weer af van de wijze van stapeling, van de stromingsweerstand tussen en in de stapels, van de gekozen wijze van aanblazen, van de geometrie van de droger, van het niveau van de temperatuur na de luchtverhitter, en verder onder meer van de relatieve vochtigheid van de aangezogen buitenlucht. Speelt zich dit nog allemaal buiten de steen af, ook het proces daarbinnen is complex. Allereerst is de wijze van waterbinding afhankelijk van de grondstof.

Zoals bij vele droogprocessen zal het eerste deel van het drogen, waarbij het oppervlak nog nat is, redelijk snel kunnen verlopen. Wel treedt krimp op. Naarmate het proces verder gaat, zal water meer en meer vanuit het binnenste van de vormling naar het oppervlak moeten bewegen. Als mechanismen hiervoor kunnen vloeistofstroming door de capillairen tussen de elementaire kleideeltjes en damp-stroming en diffusie gezien worden. Naast een niet-homogene verdeling van het vocht ontstaan nu ook temperatuurgradiënten in het materiaal tussen het warme oppervlak en het nog natte interne deel. Doordat de vormling eenzijdig wordt aangestroomd, is de temperatuur-

vochtverdeling in iedere doorsnede van de vormling verschillend, we hebben een driedimensionaal probleem. De optredende krimpspanningen zijn dan ook van plaats tot plaats verschillend, en uiteraard variërend in de tijd. We spreken hier van een systeem met gedistribueerde parameters. Het interessante van dit systeem is dat we dit op microschaal zien, dus in de vormling, maar ook op mesoschaal, binnen de droger. Ook op makroschaal, tussen verschillende fabrieken, zien we deze distributie. Essentieel bij dergelijke processen is dat ze op de verschillende schalen uitermate niet-lineair zijn. De grote uitdaging ligt daarin om dergelijke ingewikkelde systemen binnen een goed conceptueel raamwerk onder te brengen. Dit betekent, dat wij de keten van verschijnselen en interacties in kaart moeten brengen, in de vorm van een of meer fysische modellen, en deze vervolgens in mathematische modellen moeten omzetten. Deze mathematische modellen zullen vanwege de niet-lineariteit en gedistribueerdheid in speciale computer-programma's moeten worden omgezet in numerieke rekenmodellen. Uit een simpele becijfering blijkt dat het tegelijkertijd doorrekenen van alle drogende vormlingen in een droogkamer onbegonnen werk is, zelfs met zeer grote computers. Dit betekent dat een strategie voor de oplossing van dit probleem gekozen moet worden. Het startpunt ligt in het eerst bestuderen van een aantal eigenschappen die alleen van de gekozen klei afhangen, zoals transportcoëfficiënten van water en warmte onder goed gedefinieerde condities, de binding van water, en het mechanisch gedrag van de klei. Deze parameters worden bepaald bij verschillende vochtgehalten en temperaturen. Hiervoor worden de eerste modellen opgezet. Uitgaande van een aantal algemene behoudswetten worden nu modellen geformuleerd voor het driedimensionaal drooggedrag van een vormling. Nu wordt een vormling gedroogd, wederom in het laboratorium, onder een aantal verschillende condities. Door bestudering van temperatuur- en vochtprofielen en het krimpgedrag kunnen de modellen gevalideerd en aangepast worden. Deze modellen worden nu in computersimulaties gebruikt om een voorspelling te maken van het drooggedrag onder een scala van sterk ook in de tijd variërende omstandigheden. Nogmaals wordt experimenteel geverifieerd of de voorspellingen juist zijn. De volgende stap is dan, uitgaande van de robuuste basis, vereenvoudigingen aan te brengen, zodat een aanmerkelijk simpeler model voor het drooggedrag resulteert, dat wel voldoende nauwkeurig het gedrag beschrijft. Met een dergelijk gesimplificeerd model wordt nu het meso-model opgezet, voor het gedrag van een vormling in een stapel, en koppeling met de luchtomstandigheden in de droogkamer. Na een toetsing in een grote laboratoriumopstelling of een praktijkdroger hebben we hiermee het

drooggedrag in kaart gebracht. Zoals reeds vermeld speelt op de meso-schaal de stroming van lucht een belangrijke rol. Dank zij de ontwikkelingen in de numerieke stromingsleer kan ook de stroming in ingewikkelde systemen zoals bij stapelingen gemodelleerd worden. Ook hierbij zal een stapsgewijze benadering geboden zijn. Uit de combinatie van de meso-modellering van het drooggedrag en van de luchtstroming, en koppeling van energie- en massabalansen kan nu een werkend computermodel van een droogstelsel verkregen worden. Hiermee kunnen diverse omstandigheden gesimuleerd worden, zoals uitvoering van de droger, wijze van transport, temperaturen, zonder dat deze ook allemaal experimenteel onderzocht, en dus gebouwd hoeven te worden.

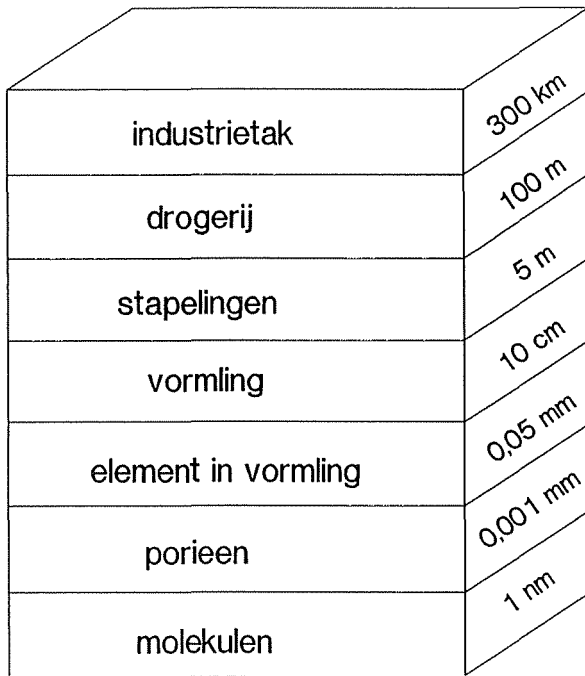
Dit geheel vergt een aanzienlijke inspanning, in denkkracht, computertijd en experimenteel programma. De vraag rijst of dit niet iets eenvoudiger kan, door een simulatiemodel op te zetten van een droogkamer, en een paar basiscurven aan experimenten te ontleen. Wat zijn nu de merites van de veel verder strekkende exercitie? Een van de belangrijkste zien we als we even terugdenken aan het probleem van de nieuwe grondstoffen. Binnen het geschetste frame zou dit aanleiding geven tot veranderingen in eigenschappen van de drogende klei; deze eigenschappen staan los van het proces zelf, maar zullen zich wel manifesteren. In de opstellingen voor het onderzoek van de mikrogrootheden kunnen we nu de transportgrootheden van de nieuwe stof meten, en de resultaten via de geschetste keten van rekenmodellen doorrekenen. Verwachten wij ergens aanzienlijke afwijkingen ten opzichte van eerdere materialen, dan kunnen we een of meer experimenten ergens in de keten uitvoeren om onze modellering te toetsen of wat bij te schaven. Het grootste deel van het raamwerk blijft echter geldig. Door het meten van waterbinding en transportcoëfficiënten en onderzoek naar samenstelling en afmetingen op het niveau van de elementaire kleine deeltjes in klei uit te voeren, kunnen we ook trachten om relaties met een voorspellend karakter te leggen betreffende de eigenschappen van mengsels. We hoeven dan ook niet voor ieder nieuw mengsel experimenteel werk te verrichten. Slagen wij de komende jaren in een dergelijk onderzoek, dan hebben wij als technologen een goed stuk gereedschap voor procesontwerp geleverd. Als we zien wat er allemaal aan theoretische basiswetenschap bij komt kijken, dan zien we fysische transportverschijnselen, reologie, mechanica, formuleren van differentiaalvergelijkingen en randvoorwaarden, fysische chemie, thermodynamica en numerieke wiskunde, om er maar een paar te noemen. In de aanpak van het probleem moeten deze gebieden geïntegreerd worden. Daarnaast is ook een implementatie van nieuwe experimentele technieken mogelijk, nuttig en interessant. Naast de

ontwikkeling van genoemd technologisch gereedschap proberen we om beschouwingen op moleculair niveau via onze keten over te brengen naar makroschaal. Dat dit kan door rigoreus de niet-lineariteiten en verdeelde parameters in onze systemen mee te nemen, komt mede door beschikbaarheid van steeds krachtiger computers en meer geavanceerde meettechnieken als ons basisgereedschap. Hierdoor zijn vroeger onoverkomelijke barrières weg aan het vallen, en worden voor ons magische poorten geopend. Door dergelijk onderzoek te doen, wordt behalve het wetenschappelijk geluk en de technologische eigen tevredenheid ook een aantal andere zaken bevorderd. Het is verheugend dat binnen de TUE nu een aantal numeriek wiskundigen direkt geïnteresseerd is in het verwerken van de op te stellen fysische modellen naar computersimulatieprogramma's, een activiteit die vroeger de procestecnoloog zelf uit moest voeren. Gaarne zullen wij een beroep op hun expertise in deze doen. Eveneens verheugend is de samenwerking met de betreffende TNO-groep die onderzoek uitvoert ten dienste van de praktijk. Dit biedt ons de mogelijkheid om te putten uit een schat aan kennis en ervaring die reeds opgedaan is met dergelijke materialen, en de mogelijkheid om onze ideeën te blijven toetsen aan diegenen die uiteindelijk er mee moeten werken. Onze taak zal min of meer klaar zijn, als we onze ideeën, modellen en het raamwerk overgedragen hebben aan een dergelijke groep. Deze kan dan voor verdere implementatie in de praktijk zorgdragen.

### **'Meerlaags meervoudig verdeelde niet-lineaire modellen', de magie van de beheersing**

Waarom zoveel drukte over het drogen van klei? Als ik in het voorgaande nogal uitgeweid heb, dan is dat veeleer het gevolg van een fascinatie voor de mogelijke aanpak van allerlei problemen, dan de bevoegenheid voor een specifiek materiaal of een speciale branche. Persoonlijk zou ik mijn gevoel op enigszins platvloerse wijze onder woorden kunnen brengen met: 'Het zal mij worst wezen of het klei is'. Iets minder plat wordt het gevoel echter ook weergegeven door: 'Het zal mij klei wezen of het worst is'. Hoewel dit geen onderdeel van ons onderzoek is, is het interessant om op te merken dat bij worstonderzoek in Utrecht en Zeist ook dezelfde aanpak te signaleren valt: 'high-tech' werk aan een zeer oud en bekend produkt.

We kunnen het probleemveld van het kleidrogen zien als gelaagd: schematisch is dit aangegeven in Fig. 4. Wij moeten verschillende schalen in onze beschouwingen betrekken, variërend in grootte,



*Figuur 4*

voorgesteld als lagen in de figuur. Uit de toplaag, de industrietak komt de vraagstelling, en daar zal uiteindelijk het antwoord terecht moeten komen. De laag daaronder wordt gevormd door de drogerij, waarbij de kennis bestaat uit de balansen die de stromen klei en lucht met bijbehorende vochtigheid en temperatuur beschrijven. In de volgende laag hebben we te maken met de stroming van de drooglucht en de uitwisselingsmogelijkheden van warmte en vocht door de droger of kamer als geheel. Deze verschillen van plaats tot plaats: het probleem is verdeeld over de ruimte van de droger. Weer een niveau dieper kijken we in de stapeling naar de verdeling van luchtstroming, vocht en warmte over de plaats in de stapel. Deze verdeling is verschillend binnen verschillende stapels in de droger, en is bovendien variabel in de tijd. De verdeling wordt dus sterker. Hieronder ligt weer een laag waarin we naar het transport van warmte en vocht en de krimp in de vormling kijken. Deze verdeling hangt af van de plaats en verloopt in de tijd, en is in principe voor elke vormling anders. Nog een niveau dieper kijken we naar zeer kleine pakketjes klei die we als lokaal



uniform beschouwen, en bestuderen daarin transportsnelheden onder verschillende omstandigheden. Nog dieper komen we bij het niveau van de elementaire kleideeltjes en de wijze waarop water gebonden en getransporteerd wordt. De structuur en de waterbinding op dit niveau hangen af van de chemische samenstelling en een samenspel van elektrostatische en mechanische krachten.

In de onderste niveau's zien we eigenschappen die meer met het materiaal dan met het proces te maken hebben, zij het dat de wijze van manifestering wel procesbepaald is. Voor de tussenliggende lagen zien we een sterke verdeeldheid van de subprocessen optreden naar plaats en tijd, in interactie met elkaar en met de processen in onder en boven gelegen lagen. Uit ervaring is bekend dat veel relaties sterk niet-lineair zijn, zoals de afhankelijkheid van de waterdampspanning van de temperatuur, en de transportcoëfficiënten als functie van vochtgehalte en temperatuur.

We karakteriseren deze systemen dan ook als 'meerlaags meervoudig verdeelde niet-lineaire processen'. De fascinatie hiervan ligt in het gevecht met de materie, het vangen van het spel der moleculen en deeltjes in regels, met als technologische beloning de magie van de beheersing.

Bij het doen van onderzoek aan dit soort systemen is het gevaar levensgroot aanwezig dat men ergens in een van de lagen verstrikt raakt en detailonderzoek blijft verrichten zonder het grote geheel nog in de gaten te houden. Van de onderzoekers wordt gevraagd dat zij ook de gelaagdheid in hun eigen bezigheden herkennen en sturen, en bereid zijn om ook zelf de geschetste diepgaande afdalingen en zijdelingse excursies te maken of te leren van andere reizigers. Ook wordt van hen gevraagd om regelmatig op te stijgen naar het overkoepelend niveau en te kijken hoe het grote geheel er bij staat, en om als dit voldoende verkend en bewerkt is er afstand van te doen en de blik op nieuwe verten te richten.

### **De magische dans van deeltjes en molekulen**

In het volgende wil ik de geschetste aanpak nader toelichten aan de hand van enige andere onderzoekprojecten. Behalve aan het drogen van klei besteden wij ook aandacht aan het drogen van vloeibare voedingsmiddelen door middel van het sproeidroogproces. Speciaal kijken we naar voedingsmiddelen waarin vetdruppeltjes voorkomen. Bij het sproeidrogen wordt de vloeistof in druppels verneveld in hete lucht; tijdens het vallen verdampt water en een droog poeder resulteert. Naast melkpoeders kunnen ook andere mengsels van belang zijn als halffabrikaten voor de voedingsmiddelenbranche. Van belang voor de praktijk is het uiteraard dat het produkt voldoende

droog is, geen klompen geeft in de verpakking, dat het betreffende apparaat niet al te groot is, en dat het produkt geen thermische schade heeft opgelopen. Bij de procesuitvoering is het van belang dat het produkt niet aan delen van de apparatuur kleeft. Ook hier weer zullen we de laagsgewijze beschouwing moeten hanteren. De verspreiding van druppels door de droger wordt beïnvloed door de luchtstroming en door de wijze van verstuiving; dit laatste bepaalt de grootte en de aanvangssnelheid en richting van de druppels. Te grote druppels hebben een te grote remweg, en zullen tegen de wand van de droger terecht komen en tot vervuiling leiden. In het onderste konische deel zal het produkt opgevangen worden, en dus voldoende droog moeten zijn; wederom hebben grote druppels een langere droogtijd nodig en zouden vervuiling kunnen veroorzaken. Zouden we zeer kleine druppels maken, dan krijgen we niet alleen een fijn, stuivend poeder, maar dan zal de uit het apparaat stromende lucht een belangrijk deel van het produkt meenemen; dit geeft extra afscheidingsproblemen. De snelheid van het drogen wordt weer voor een groot deel bepaald door de diffusie in het drogende deeltje. De temperatuurgeschiedenis van het deeltje hangt direkt samen met de temperatuur en vochtigheid van de lucht, en met de diffusiesnelheid van water binnenin. Als zich dan ook nog druppels binnen de druppels bevinden, dan zien we dat het probleem weer van een meerlaagscomplexiteit is. Wanneer we dan ook nog weten dat de diffusiecoëfficiënt van water zeer sterk van het vochtgehalte afhangt en van de temperatuur, dan hebben we dus ook een meerlaags multi-verdeeld niet-lineair probleem te pakken. Ook speelt hierin dat niet alle verstoven druppels van dezelfde grootte zijn. Op dit ogenblik bestaan vrijwel uitsluitend empirische regels voor schaalvergroting van dergelijke processen. Door het probleem op te splitsen in hanteerbare, bestudeerbare en modelleerbare stukken hopen wij in staat te zijn om een bijdrage aan de geïntegreerde aanpak te leveren. Op zeer elementair niveau bestuderen wij diffusiesnelheden, en zullen we het transport van water in een systeem met vetdruppels moeten beschrijven, de beweging van de moleculen te vangen in een modelvoorstelling. Dit moeten we dan toepassen in een model voor een enkele drogende druppel, met variabele temperatuur, en integreren in multidruppelmodellen met stromingsmodellen in dergelijke drogers. Ook hier zullen we tussentijds benaderende modellen moeten hanteren om een laag naar boven te gaan. Wederom is een verdieping gewenst in het diffusiegedrag van water in allerlei voedingsmiddelen bij lage vochtgehaltes en hoge temperatuur: dit speelt zich af op molekulaair niveau. Ook dit project geschiedt in samenwerking met anderen, in dit geval met een betrokken industrie, waarin men ons aan de toepassingskant voor

doodlopende excursies probeert te behoeden. En ook hier zullen wij gaarne aansluiting zoeken bij de experts in numerieke wiskunde en ook bij die op het gebied van de numerieke stromingsleer. Wederom openen zich voor een technoloog de magische perspectieven van beheersing door begrip: door beschouwingen op moleculaire schaal moet de voorspelbaarheid van diffusie-coëfficiënten vergroot kunnen worden, via de rekenmodellen kunnen we naar makroschaal. Voor de praktijk betekent het beschikbaar komen van simulatiemodellen de opening naar rationeler procesontwerp, en de mogelijkheid om met de computer te experimenteren.

Ook binnen het thema ontwatering ligt onderzoek naar fundamentele aspecten van de ontwatering van slib uit rioolwaterzuiveringen, een onderzoek dat uitgevoerd wordt op verzoek van STORA, in het kader van het landelijke project: 'RWZI-2000'. Doel van dit ontwateren is het verlagen van transport- en verdere verwerkingskosten. De praktijk wijst uit dat het slib zich door middel van grote filters de ene keer goed en de andere keer slecht laat indikken. Dit kan afhangen van het type zuivering, van de soort afvalwater, van de apparatuur, en een zee van andere variabelen. De aanpak die ons hier voor ogen staat is wederom een analyse van dit multilaags multigedistribueerd probleem in termen van waterbinding en transportverschijnselen. Hiervoor zullen we eerst inzicht moeten krijgen hoe water nu eigenlijk aanwezig is in slib, en hoe het zich moet bewegen om het er uit te krijgen. In apparatuur waar we druk aanleggen, zoals bij filters, zal de hydraulische druk overgaan op de vaste massa, welke daardoor compakter wordt. Dit kan het uitpersen aanzienlijk belemmeren. Naast bestudering van de wijze waarop water aanwezig is, is dus ook een studie naar het mechanisch gedrag van de slibmassa noodzakelijk, en naar de invloed op de permeabiliteit. De wijze waarop water aanwezig is, de interne structuur van aggregaten van kleinere slibdeeltjes en ook voor een deel de wijze van transport van water heeft uiteraard ook invloed op andere verschijnselen dan alleen filtratie. Dit betekent dat een aantal experimenten verzonnen kan worden om het slib te karakteriseren qua gedrag. In de praktijk zijn reeds enige van deze karakteriseringsmethoden in gebruik, maar ze leiden niet altijd tot goede resultaten. Het zal duidelijk zijn dat voor ons de weg gezocht zal moeten worden in het opzetten van een coherent raamwerk, waarin op fysische gronden duidelijk wordt wat nu eigenlijk gekarakteriseerd wordt, en hoe de verschillende resultaten met elkaar samenhangen. Wederom zien we hier een reeds geruime tijd bestaande technologie waarin verdere voortgang en rationalisatie alleen kan geschieden door het mechaniek van zorgvuldige differentiatie, verkenning, en hierop volgende

modelmatige integratie van een zeer complex fysisch probleem. Tevens zien we hier weer de noodzaak om te denken tussen zeer kleine schaal, op het niveau van de bacteriecel of nog kleiner, via vlokken en aggregaten tot aan de grote schaal van de zuiveringsinstallatie. Weer ligt het opzetten van de systematiek op onze weg, en zullen wij moeten zorgen voor een goede overdracht naar anderen voor de implementatie.

Een laatste onderwerp in deze categorie vormt het onderzoek naar de interactie van componenten bij membraanprocessen. Bij een aantal van deze processen worden stoffen van verschillende molekuul-grootte van elkaar gescheiden door middel van een poreus vlies bijvoorbeeld van kunststof. In praktijksituaties bleek dat kleine molekulen die ongehinderd door het membraan zouden kunnen gaan, bij de aanwezigheid van grote molekulen in hun transport gehinderd worden. De oorzaak ligt in de concentratie van deze molekulen nabij het membraan, waardoor een soort zeefwerking optreedt van de kleine. Dit heeft als praktische consequentie dat bijvoorbeeld extra met water gespoeld moet worden, hetgeen de capaciteit in produkt per oppervlakte-eenheid membraan verlaagt. Anders gezegd verhoogt dit de investeringskosten. De mate van achterhouden, de retentie, van de kleine molekulen wordt mede bepaald door proces-omstandigheden zoals de aangelegde druk, de snelheid waarmee vloeistof langs het membraan gepompt wordt en de geometrie. Dit maakt het probleem ingewikkeld, zowel in de ontwerpfasen als bij de bedrijfsvoering. Merkwaardigerwijs bleek in het grote veld van het membraanonderzoek hieraan geen aandacht besteed te zijn, en geen theorie voorhanden te zijn over deze interacties. Na een eerste raamwerk hiervoor te hebben kunnen ontwikkelen bij mijn vorige werkgever, gaan wij nu een fundamenteel onderzoek naar dergelijke interacties uitvoeren aan de TUE, daartoe in de gelegenheid gesteld door subsidiering van de Programma Commissie Membranen en bijdragen van een vijftal nederlandse bedrijven.

In dit onderzoek zullen wij ons onder meer bezig houden met botsingsmodellen tussen deeltjes, variërend van molekulaair tot makroskopisch, en de interactie met de hydrodynamica. Wij hopen met dit onderzoek wederom onze interesse op het niveau van molekulen en hun onderlinge interactie te kunnen bevredigen, maar tegelijkertijd een bijdrage te kunnen leveren aan een ingewikkeld praktijkprobleem.

Ik wil nog kort enkele andere projecten aanduiden. Allereerst wordt in samenwerking binnen de faculteit en met de stichting 'Afvval en Milieu' aandacht besteed aan de opschaling van elektroforetische scheiding

van stoffen uit mestvloeistof. Dit is een aardig voorbeeld van een techniek die oorspronkelijk afkomstig is uit het analytisch laboratorium, en nu op pilotschaal draait bij een varkensboerderij. Hiermee is het in principe mogelijk om waardevolle eiwitten afzonderlijk te winnen, en om zware metalen af te scheiden. Hiertoe stellen we molekulen en ionen bloot aan de invloed van een elektrisch veld, gecombineerd met stroming van vloeistof en deeltjes, en proberen we ze op de juiste plaats en in de juiste zuiverheid uit een apparaat te krijgen. Voor dit soort processen ontbreken nog schaalregels; door achtergrondonderzoek hopen wij hier een bijdrage aan te kunnen leveren en daardoor aan de ontwikkeling van een technologie die mestverwerking minder duur en zelfs wellicht profijtelijk zou kunnen maken, en die ook op andere terreinen toepassing zou kunnen vinden. Ook gaat onze interesse uit naar de krachten die op deeltjes zoals druppels en gasbellen werken in een elektrostatisch veld, zoals gebruikt bij de coalescentie van waterdruppels in olie. Het lot van de druppels wordt bepaald door een samenspel van visceuze en elektrische krachten, samen met grensvlakspanning en de zwaartekracht.

Een derde thema is het gebied van de 'Selectieve Sorptie'. Hierbij doen wij reeds onderzoek naar adsorptie aan actieve kool. In veel gevallen hebben wij te maken met competitieve adsorptie uit vloeistoffen; hierbij concurreren verschillende stoffen met elkaar om door de kool opgenomen te worden. Van belang voor de praktijk is een werkbaar beslissingscriterium voor de keuze van de juiste soort kool, zowel wat betreft belading als wat betreft selectiviteit. Tevens van belang zijn goed werkende computersimulaties van dergelijke processen. Verrassend is het verschijnsel dat bij bepaalde componenten een dusdanige hysteresis optreedt, dat het lijkt alsof ze chemisch gebonden zijn aan de kool. Uit een eerste theorie zou het lijken alsof we hier met een nog niet beschreven fenomeen te maken hebben, de kristallisatie van molekulen in mikroporiën. De betreffende theorie, de Capillaire Cristallisatie theorie, gaat uit van een aantal zeer eenvoudige beelden, zoals het ontstaan van een holle meniscus tussen kristallen en poriëwand, en geeft een redelijk goede dekking met experimentele waarnemingen. Iets nader beschouwd echter zijn de betreffende poriën zo klein dat er slechts een gering aantal molekulen in past, zeg tussen de 2 en de 10. Wat dan nog de betekenis is van zaken zoals kristallisatiewarmte en grensvlakspanning, is een kwestie die wij gaarne met onze fundamentele collega's onder de loupe zullen nemen. Ook kunnen we verwachten dat de beweging van molekulen in zeer kleine poriën gehinderd wordt; voor systemen met vloeistoffen is hier

nog veel braakliggend terrein.

Een laatste onderwerp loopt reeds gedurende enige jaren in onze groep, de biologische gasreiniging. Hierbij breken microorganismen sporen van stinkende en/of giftige componenten af, die zich in lucht bevinden. Deze lucht kan bijvoorbeeld afkomstig zijn van de uitlaat van luchtverversingsinstallaties in bedrijven. Zeker in het geval van giftige stoffen of stoffen die giftige nevenprodukten opleveren, is er een delikate balans tussen de verwijdering door de stofwisseling en de mogelijkheid van afsterven van organismen. Momenteel wordt onderzoek naar speciale typen van deze zgn. biofilters uitgevoerd. Ook hierbij speelt weer het probleem dat men een gedistribueerd systeem heeft op verschillende schalen. In de diepte in de biolaag bevindt zich een concentratieprofiel, maar ook over de hoogte van de kolom. Het is zeker dat in een technische installatie ook een continue invasie van allerlei in de lucht zwevende organismen zal voorkomen. Betere kennis omtrent de effectiviteit en de stabiliteit van dergelijke filters kan een bijdrage leveren aan de leefkwaliteit.

Naast het ontwikkelen van grootschalige technologische processen is als een nieuwe trend door Keller ook vermeld het verkleinen van processen. Reeds genoemd was, dat wij graag de inzichten vanuit de meer fundamentele fysische en chemische richtingen willen integreren in ons werk. Evenzeer willen wij graag de inzichten vanuit de procestechnologie aanbieden voor werk dat zich op kleine schaal afspeelt. Hierbij kunnen wij denken aan de zuivering van componenten in de biochemie, waarbij in veel gevallen dusdanig sterke adsorptiemiddelen worden gebruikt bij zuiveringsstappen, dat bij het verwijderen een deel van de opbrengst weer verloren kan gaan. Door een samenspel tussen chemie en kinetiek kan hier wellicht verbetering in gebracht worden.

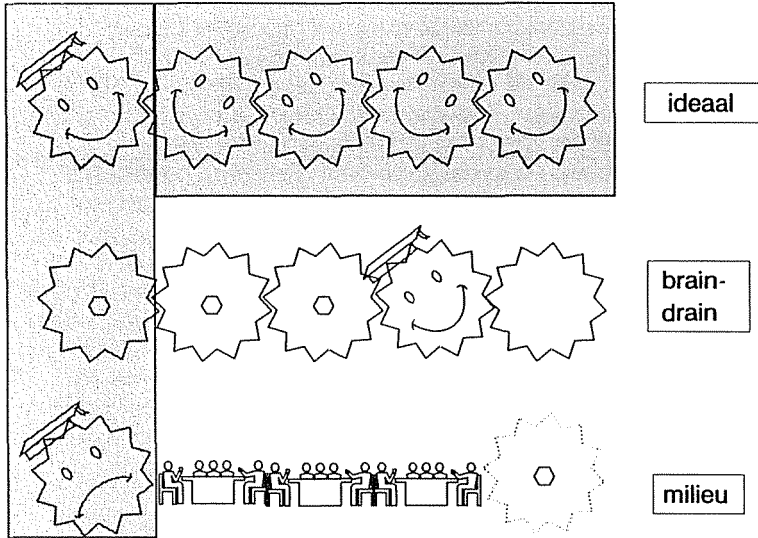
### **Overdracht en scheiding der geesten**

Na dit overzicht zult U zich wellicht afvragen of ik de TUE als geheel als onderzoeksinstituut onder mijn hoede heb. Dat is niet zo, maar kwantiteit is niet de enige weg tot succes. Gegeven de beperkte capaciteit in menskracht en middelen, naast onze primaire taak in het onderwijs, is het voorgaande ambitieus te noemen. Hoewel het ook niet allemaal binnen een maand klaar hoeft te zijn, noodzaakt het wel tot het duidelijk doen van keuzes, het bepalen van de eigen positie. Hiermee kom ik op het punt kennisoverdracht. Om collega Wesselingh te parafaseren 'Een van de belangrijke taken van scheidingstechnologen is het scheiden van geesten'. Onze keuze is die van een discipline-versterking binnen het veld, het bewaken en

benutten van oude kennis, het verwerven van nieuwe, het geven van structuur aan probleemanalyse en oplossing, en het uitdragen hiervan naar de maatschappij. Dit laatste doen we primair door het opleiden van ingenieurs, ontwerpers, onderzoekers en promovendi, het verzorgen van externe cursussen en publikaties. Zoals uit de voorbeelden blijkt, vinden de meeste onderzoeksprojecten plaats in samenwerking met anderen uit de praktijk. Gezien de breedte van het veld stemmen wij een en ander in landelijk verband af binnen de SON-werkgemeenschap en in het kader van de recent opgerichte stichting Scheidingstechnologie Nederland. Uit de ervaringen van de afgelopen jaren blijkt dat de kennisoverdracht tussen wetenschap en praktijk in het brede gebied der scheidingstechnologie een aantal gaten vertoont. Dit speelt bijvoorbeeld sterk op het gebied van drogen, en diverse milieuproblemen. In het eerste geval is in de tijd van onze grote leermeester Thijssen zeer veel werk verricht en ook vastgelegd in publikaties en proefschriften. Dit is kennelijk niet voldoende. Nu kunnen we de oplossing zoeken in het opleiden van een zeer groot scala aan differentiaties met ieder een eigen naam; mijns inziens is dit geen goede zaak. Een tijd lang heeft men via transferburo's en contractresearch een brug trachten te slaan tussen wetenschappelijke kennis en praktijk, met name voor situaties waar de wetenschappelijke basis in het veld te zwak of afwezig was. Hoewel dit in eerste instantie soms goed gewerkt heeft, is over een brede linie het gevoel van verminderde meeropbrengst merkbaar, voor beide partijen. Het gevaar bestaat dat de universitaire wetenschapper beneden zijn niveau gaat werken, hetgeen leidt tot erosie, wetenschappelijk en aan de opleidingskant, daarmee op langere termijn juist een averechts effect sortierend. In de eerder gebruikte beeldspraak kunnen we stellen dat er nog delen ontbreken aan het 'maatschappelijke molekuul', daardoor zijn ook de nodige interacties soms afwezig. In meer makroskopische vorm kunnen we een en ander voorstellen in het 'tandwielmodel', aangegeven in Fig. 5. In het ideale geval zijn voldoende raderen aanwezig om de wederzijdse overdracht van kennis tussen wetenschap en produktieniveau te realiseren. Binnen veel industriële researchorganisaties is afslanking, snel marktgericht werken en het afsnijden van bochten een tijdsverschijnsel. Men kan nu goede wetenschappers naar de industrie trekken. Vaak treedt dan het verschijnsel op dat goede technologiën met een hoog integratievermogen juist hierom snel in management vervallen, en daarmee van identiteit veranderen. Hierdoor blijven de nodige tandwielen ontbreken. Dynamisch gezien wordt dan vaak de instroom en de conversie van technologiën vergroot, tot een verzadiging aan de managementkant optreedt en de ontbrekende schakels kunnen

wetenschap

productie



Figuur 5

worden opgevuld. Dit kost tijd en geld. Hier ligt duidelijk een taak voor bestaande en nieuw op te richten bedrijven en instellingen, er ligt ook een markt.

Een vermelding apart verdient de problematiek rond het milieu. Deze is nijpend, en van het grootste maatschappelijk belang. Terecht worden hiervoor grote bedragen in regeringsplannen vermeld, onjuist is het grotendeels binnenskamers houden van de activiteiten waaraan deze bedragen besteed moeten worden. Bij een groot aantal instellingen en bedrijven werken zeer veel mensen aan milieu-onderzoek. Uit een recente inventarisatie van milieuonderzoek buiten de universiteiten in verband met een op te starten IOP-milieu-technologie is duidelijk af te lezen dat we nog veel te weinig doen aan technologisch onderbouwd oplossingsgericht onderzoek. De redenen hiervoor kunnen van allerlei aard zijn: gebrek aan kennis, politieke barrières, nog te veel accent op meten. Voor de buitenstaander lijkt ook de organisatie rond de besluitvorming en het enorme aantal commissies en instellingen niet direct bevorderlijk voor het te bereiken doel. Opvallend is dat veel programma's werken volgens de methode van inschrijving met projecten: door de zeer vele goedbedoelde projecten en onderlinge verwevenheden van belangen



wordt het beschikbare geld en daarmee de mogelijkheden tot oplossing voor een belangrijk deel versnipperd. Het is merkwaardig en bedroevend te constateren hoe vaak men ons aan de universiteiten beschouwt als magiërs die kant en klare oplossingen voor een schijntje uit hun kookketels zouden moeten kunnen toveren, of hoe vaak men tracht om de naam van universitaire wetenschappers als etiket op bepaalde projekten te plakken als plaatsvervangende voor meer inhoudelijke activiteiten. Het zou een goede zaak zijn om in komende regeringsprogramma's meer oplossingsgericht onderzoek te (laten) definiëren, daarin prioriteiten te stellen, en deelname hieraan uit resultaatoverwegingen te laten plaatsvinden, voor het geld dat er voor nodig is. Dit betekent ook het inschakelen van nog meer technologisch ingenieurs; het is mijn visie dat dit over het geheel sterk kostenbesparend zal werken, waardoor de gezamenlijke lastendruk slechts zeer weinig hoger zou hoeven te worden.

Vanuit de TUE hebben we het voornemen tot oprichting van een instituut voor afvalverwerking alhier; hier zou op een doelgerichte wijze onderzoek gedaan moeten en kunnen worden ten einde oplossingen aan de praktijk direct, of via ingenieursbureaus en bedrijven aan te kunnen leveren, uiteraard in goede samenwerking met TNO en anderen.

Het is mijn impressie dat het ontbreken van de tandwielen in het maatschappelijk raderwerk te weinig in beschouwing is genomen bij de recente studie naar de behoefte aan procestecnologen, en dat in de nabije toekomst hier werk ligt voor een aanzienlijk aantal technologen.

## **Onderwijs**

Om in deze tijd technologen op te leiden voor een breed scala aan potentiële functies, zal een continue aanpassing van het onderwijs nodig zijn, zowel in de eerste als in de tweede fase. Binnen de faculteit zullen we moeten streven naar nog verdere inhoudelijke integratie. Bij de invulling van onze voorgenomen herziening van het onderwijs kunnen we zo de exacte verdieping vergroten. Wat betreft het technologisch deel ligt zowel uitbreiding van praktische kennis als het gebruik van computers voor probleemoplossing in de bedoeling. Binnen de tweede fase zullen speciaal gerichte colleges worden opgezet ten einde zowel de praktische als de theoretische basis voor onze ontwerpers en onderzoekers nog verder te verbreden en verdiepen.

*Mijne Heren leden van het College van Bestuur,*

Aan het besluit van mijn rede wil ik U hartelijk danken voor mijn benoeming tot hoogleraar aan deze universiteit. Ook wil ik hierbij allen dank zeggen die aan mijn benoeming hebben meegewerkt voor het in mij gestelde vertrouwen. U kunt erop rekenen dat ik mij naar beste weten en kunnen zal inzetten voor deze taak.

*Dames en Heren hoogleraren en medewerkers van de Faculteit der Scheikundige Technologie, in het bijzonder leden van de vakgroep Chemische Proceskunde,*

Ik heb nu al weer bijna anderhalf jaar in uw midden mogen werken, na een afwezigheid van meer dan tien jaar van de plaats waar ik mijn academische loopbaan begonnen ben. Er was veel veranderd, en veel hetzelfde gebleven. De herinnering aan de ons ontvallen grote leermeesters die ik heb mogen meemaken, Keulemans en Thijssen, koester ik met een blijvend gevoel van diepe emotie. Wat ik van hen heb meegekregen, in het bijzonder van Hans Thijssen, zal heel mijn leven door blijven werken. Ik hoop in staat te zijn om een aantal van de waardevolle dingen waar hij voor stond inhoud te kunnen blijven geven. De warme collegialiteit waarmee ik met name binnen de voormalige vakgroep fysische technologie weer ben opgenomen, heb ik als bijzonder plezierig ervaren; ik hoop ook als voorzitter van de vakgroep jullie hiervoor iets terug te kunnen geven. De positieve wijze en grote inzet van mijn medewerkers om aan een nieuw onderzoekveld te beginnen heeft diepe indruk op mij gemaakt. Wij zijn vorig jaar reeds begonnen vorm te geven aan de ontwikkelingen die dit jaar door de European Federation for Chemical Engineering zijn geformuleerd als nodig voor 'processtechnologie in het jaar 2000'[6]. Tot jullie zeg ik: bedankt voor de eerste stap, we gaan er iets fantastisch van maken: 'Scheiden doet leiden!'. Ook de collegiale ontvangst en de open houding naar mij als een van de nieuwelingen binnen de faculteit heb ik als zeer positief gevoeld. Ik hoop dat wij in het nog steeds sterk veranderende en verzakelijkend klimaat binnen onze kleine faculteit onze fascinatie met betrekking tot ons vak in al zijn uiteenlopende facetten met elkaar mogen blijven delen, en deze steeds als een van de gezamenlijk gevoelde pijlers van onze taak als uitgangspunt kunnen blijven houden.

## *Dames en Heren oud-collega's,*

Terugkijkend op de periode van 1977 tot medio 1987 toen ik hier benoemd werd, zie ik terug op een open zwerftocht waarin ik heb mogen werken aan zeer vele facetten van de technologie. Door steeds, soms meer, soms minder, sterk verknocht te blijven aan een voor mijzelf misschien niet altijd even duidelijk formuleerbare gedrevenheid in het proceskundige vak, heb ik mij in veel van mijn werkomgevingen slechts in beperkte mate geïdentificeerd met die omgeving. Dat ik soms desondanks, soms juist dankzij dit halve isolement, nuttig en interessant werk heb kunnen doen met het nodige plezier, heb ik voor een groot deel aan jullie te danken met wie ik gewerkt heb.

Collega's van het NIZO, bij jullie heb ik mijn eerste stappen kunnen zetten als procestechnoloog binnen de zuivel, en heb ik een schat aan ervaring op kunnen doen.

Collega's van de HTS Breda, nog regelmatig denk ik terug aan de bijzonder warme atmosfeer waarin ik een aantal jaren onderwijs heb mogen verzorgen, en wat voor mij een onverwachte hernieuwde kennismaking met de fundamenteën van het vak in bijna al zijn facetten met zich mee bracht.

Collega's van de LUW, Hooggeleerde Van 't Riet, beste Klaas, jouw beslissing indertijd om iemand als ik aan te nemen op een tijdelijk contract als deeltijdmedewerker heeft voor mij de mogelijkheid geopend om mij weer in een geheel nieuw veld te kunnen verdiepen, de levensmiddelenbioprocestechnologie. Hoewel ik dat toen in het geheel niet bevroedde, werd daarmee tevens de weg naar de dag van vandaag geopend. Zowel de samenwerking met de andere collega's als met jou, en de grote vrijheid die ik mocht ondervinden hebben ervoor gezorgd dat het werk succesvol was.

Collega's van Gist-brocades, het zal jullie duidelijk zijn, dat een aantal van de hier door mij naar voren gebrachte ideeën hun rijping hebben kunnen vinden mede dank zij de ervaringen binnen het biotechnologische Gb. Met name de collega's van de Technologische Proeffabriek wil ik dank zeggen voor een van de meest intensief beleefde periodes in mijn leven en de van jullie ondervonden collegialiteit.

Binnen dit kader wil ik ook een speciaal woord van dank uitspreken aan allen waarmee ik samen heb mogen werken vanuit mijn adviserende bezigheden; zonder deze intensieve relaties zou mijn visie op de interactie tussen wetenschap en praktijk vele malen academischer zijn geweest. Graag dank ik dan ook met name de medewerkers van Douwe Egberts, Stork-Friesland en Unilever voor de geboden mogelijkheden in dit opzicht.

*Waarde vrienden en familieleden,*

Zowel in de beginjaren hier in Eindhoven tijdens mijn promotie, als tijdens de eerder gememoreerde zwerftocht daarna, heb ik zowel plezierige dingen als de onvermijdelijke problemen met jullie mogen delen. Op een soms wat eenzame reis heeft jullie vriendschap en warmte mij mede op koers gehouden.

*Rosa, Peter en Barbara,*

Het is ook voor jullie een enorme zwerftocht geweest, zowel wat verhuizingen betreft als wat de steeds weer wisselende bezigheden van mij telkens weer aan aandacht vroegen. Jullie steun en acceptatie zijn voor mij onschatbaar geweest; ik hoop dat ik jullie nu een iets minder woelig vaarwater kan gaan bieden.

*Dames en heren studenten,*

Last but not least richt ik me tot jullie, de hoop van technologisch Nederland. Ik hoop in staat te zijn om aan jullie kennis en inzicht over te dragen, en nog veel meer om jullie in staat te kunnen stellen dit zelf hier te verwerven. Ik hoop ook dat een aantalK van jullie gegrepen mag worden door de magie van de technologie, zowel door die van de beheersing als die van de bekoorlijke beweging van deeltjes en molekulen. Moge jullie pad succesvol zijn, en mogen jullie bijdragen aan de totstandkoming van een nog betere maatschappij.

Dames en Heren, ik dank U voor Uw aandacht.

## **Literatuur**

1. Levenspiel, O., 'Chemical Engineering's Grand Adventure', Chemical Engineering Science, vol **43**, no 7, 1427 - 1435, (1988)
2. Richarz, W., 'Chemical Reaction Engineering – quo vadis?', CHIMIA, 42, no 12, 424 - 428, (1988)
3. Amundson, N.R., 'Frontiers in Chemical Engineering', National Research Council, National Academy Press, Washington D.C., 1988
4. Keller, G.E., 'Separations: New Directions for an Old Field', AIChE Monograph Series, **17**, vol 83, (1987)
5. King, C.J., 'Separation and Purification, Critical Needs and Opportunities', National Research Council, National Academy Press, Washington D.C., 1987
6. Janssen, L.P.B.M., 'Procestechnologie in het jaar 2000', I<sup>2</sup> – Procestechnologie, **5**, no 5, 8 - 9, (1989)