

PROCESKUNDE EN PROCESINNOVATIE

INAUGURELE REDE
uitgesproken bij
de aanvaarding van het ambt van
hoogleraar in de proceskunde
aan de Landbouwhogeschool te Wageningen
op 4 juni 1975

door

Dr.Ir. S. Bruin



Op de berg is een boom:
het beeld van de ontwikkeling

I Tjing, het Boek der Veranderingen
(1)

Dames en Heren, zeer gewaardeerde toehoorders,

Het geven van een goede definitie van *proceskunde* is een bezigheid waarmee een aantal collega's zich, sinds Rietema in 1960 de term introduceerde als vertaling van het Angelsaksische "chemical engineering", in oraties onledig heeft gehouden (2-7). Het is dan ook niet dan met enige schroom dat ik U op deze middag, die voor U zoniet een element van vrije tijdsbesteding *sui generis* (4), dan toch een element van daarop lijkende besteding van werktijd in zich heeft, toch zou willen meenemen in een gedachtenreeks over de omschrijving van het begrip "proceskunde". Dat ik meen dit te moeten doen spruit onder andere voort uit het feit dat in de eerste plaats het betrekkelijk nieuwe vak proceskunde aan de Landbouwhogeschool projecteerd gezien moet worden op de toepassingsgebieden van de voedings- en genotmiddelenindustrie, en daarnaast de fermentatie- of biochemische technologie en de milieutechniek. Deze verzameling van toepassingsgebieden wijkt gedeeltelijk af van het hoofdgebied van toepassing van de proceskunde, waar de collega's van de technische hogescholen zich voornamelijk op richten, zoals de petroleumtechnologie, chemische technologie en de energievoorziening. In de tweede plaats wil ik het verband tussen proceskunde en *procesinnovatie* met U analyseren en hiertoe zal een afbakening van het gebied van de proceskunde nuttig zijn.

Het woord "proces" duidt in zich op *verandering*, beweging of het geleidelijk doorlopen van verschillende stadia of toestanden. Toch zullen we niet elke verandering of beweging een proces noemen: er komen extra voorwaarden bij. Deze extra voorwaarden hebben te maken met het uitgangspunt of de begintoestand en het punt van aankomst of de eindtoestand. Wat nauwkeuriger uitgedrukt, omdat dit beter meetbaar is, met het onderlinge verschil tussen de eindtoestand en de begintoestand. Het proces in een rechtszaal leidt hopelijk tot een rechtvaardige straf voor een strafbaar feit of tot vrijspraak van ten onrechte beklaagden. Een processie leidt, zelfs in Echternach, tot een door de gelovige deelnemers als positief ervaren religieuze beleving. Termen als "semper crescendo" en "voorwaarts"

vormen geliefde namen voor dorpsharmonieën en sportverenigingen teneinde het proces van verwerven van muzikale en lichamelijke vaardigheden dat men beoogt te verwerklijken, te verwoorden, ook al is het wat de harmonie betreft telkens hetzelfde liedje en weet de betreffende sportvereniging telkenjare ternauwernood aan degradatie te ontsnappen. Kortom de toestand waar men graag wil uitkomen, desnoods via een "moeizaam" proces, moet "beter" zijn dan de uitgangstoestand. We zien hier misschien een manifestatie van wat Trimbos de veranderingsethos noemt, wortelend in de traditioneel christelijke levensbeschouwing waar schepping in heilsverwachting uitmondt.

Is dit laatste nu niet het geval dan spreken we van kringprocessen: we draaien in een kringetje rond zonder iets bereikt te hebben. Voorbeelden van zulke processen die ik voor het gemak *kringprocessen van de eerste soort* zou willen noemen zijn; verrassend genoeg, juist ook buiten de academische wereld eigenlijk niet zó eenvoudig te vinden. Beethoven cycli geven per slot van rekening muzikgenot aan de liefhebbers; de Krebs- of citroenzuur cyclus heeft tot doel de koolstofskeletten noodzakelijk voor biosynthese te vormen en daarnaast energie in een voor deze synthese bruikbare vorm om te zetten. Hetzelfde geldt mutatis mutandi voor thermodynamische kringprocessen als de Carnot- en de Stirling cyclus. De Britten evalueren kringprocessen vaak met de opmerking dat men gedurende het doorlopen ervan, ofschoon wat droeviger, dan toch wijzer werd. Deze kringprocessen zou ik willen aanduiden met *kringprocessen van de tweede soort*. Hier kom ik later nog op terug.

We zien uit deze eerste verkenning dat de doorsnede van de verzameling der processen, met andere woorden het gemeenschappelijk element in alle processen, is dat beoogd wordt een gewenste verandering te bewerkstelligen. De aard van de beoogde verandering verschilt uiteraard enorm, afhankelijk van het proces wat beschouwd wordt en kan variëren van onmeetbare, abstracte veranderingen (religie, muziek) via wel aanwijsbare maar slecht kwantificeerbare veranderingen (rechtspraak) tot meetbare veranderingen (grondstof wordt produkt).

Hoewel het niet moeilijk zou zijn bovenstaande beschouwingen over processen nog enige tijd en nog aanmerkelijk wijderlopijger voort te zetten is het dacht ik op dit moment nuttiger om concreet te worden over de deelverzameling van processen die men in de proceskunde als wetenschapsobject heeft. Hiertoe zijn uiteraard twee elementen van belang: het doel, dat wil zeggen de gewenste verandering, en de middelen. In de eerste plaats zijn de veranderingen welke men in de proceskunde tracht te bereiken omzettingen van fysische-, fysisch chemische, of chemische aard en hebben tot doel uitgangsmaterialen om te zetten in produkten waaraan de samenleving een zekere behoefte vertoont. In de tweede plaats laat men deze veranderingen plaatsvinden in een reeks opeenvolgende apparaten waar materie, warmte en mechanische energie wordt toe- of afgevoerd. We zien uit het bovenstaande dat zowel het *doel* als de *middelen* beschouwd moeten worden bij de nadere afbakening van het gebied van de proceskunde. Het is niet zo dat we kunnen zeggen dat het doel de middelen heiligt, zodat we bij definitie van de proceskunde zouden kunnen volstaan met ons uitsluitend op het doel van de processen te concentreren.

Overigens kan ik me niet altijd aan de indruk onttrekken dat we in de proceskunde kunnen spreken van situaties waar de middelen voor een deel het doel heiligen. Men kan bij een gegeven stand van de techniek vaak de gewenste kwaliteit en kwantiteit van produkten of het voorkómen van ongewenste milieuvervuiling slechts tot op zekere hoogte benaderen. Maar dit terzijde.

Ik wil nu eerst een kort overzicht geven van wat er zoal in Nederland tijdens oraties over het vakgebied van de proceskunde gezegd is in de afgelopen 15 jaar. Rietema stelde dat het wezen van de proceskunde het ontwikkelen en het ontwerpen van "processen" is, waarbij ruwe grondstoffen (bulkgoederen) in eindprodukten of halffabrikaten worden veranderd. Deze processen kunnen zowel chemisch van aard zijn, waarbij materie getransformeerd wordt, als fysisch- of mechanisch. Voorbeelden van de processen waarom het gaat zijn gemakkelijk te geven: raffinaderijen,

petrochemische industrie, een groot deel van de voedingsmiddelenindustrie. Thijssen stelde dat proceskunde zich bezighoudt met het onderzoek en het opstellen van regels volgens welke een "proces" economisch kan worden samengesteld en uitgevoerd. Het opbouwen van een produkttechnologie kan volgens Thijssen, gezien worden als een symfonie-orkest dat een uitvoering geeft: de proceskunde dirigeert, partijen worden gespeeld door de warenkennis van die produkttechnologie, proceservaring, mechanische-, fysische- en chemische technologie: het samenspel der technologieën. Legde Rietema het accent op het gebruik van ruwe grondstoffen als uitgangsmateriaal en op de aard van de produkten, die bulkgoederen zouden dienen te zijn; Thoenes stelde voor om in het bijzonder de apparatuur die gebruikt wordt als karakteristiek voor de "procesindustrie" te nemen en vervolgens de proceskunde als de technische wetenschap van de procesindustrie te definiëren. Omdat de bedoelde apparatuur moeilijk los van het begrip proceskunde te omschrijven blijkt kwam Thoenes tot een dubbeldefinitie in de beste tradities van het Taoïsme die ik als volgt zou kunnen parafraseren: "De proceskunde is de technische wetenschap van *die* takken van de industrie waarin stoffen worden bewerkt volgens de methode van de proceskunde. Kossen ziet de fysische technologie als de leer van die bewerkingen van grondstoffen die berusten op het transport van impuls, energie en materie. Binnen de fysische technologie is dan volgens Kossen een fundamenteel gebied aan te duiden dat proceskunde of fysische transportverschijnselen heet en een toegepast deel dat aangeduid kan worden met procestechiek. Zuiderweg karakteriseert de procesindustrie als die industrie waarin over het algemeen ruwe grondstoffen verwerkt worden tot half-fabrikaten die dienen voor het vervaardigen van produkten voor de consument, terwijl daarnaast de apparatuur die gebruikt wordt het bijzondere kenmerk heeft dat ze weinig weg heeft van machinerie doch veelal bestaat uit vaten van verschillende vorm en omvang en voorzien van speciale inwendige constructies met elkaar verbonden door pijpen en leidingen. Van Swaay bracht naar voren dat het moeilijk is een zodanige definitie van processen te geven, dat deze juist datgene aanduidt wat de deskundigen, de proceskun-

digen of procestechnologen, eronder willen verstaan maar dan ook niet méér. Ik zou dit willen beamen, daarbij gesteund door de reactie van een kennis op mijn benoeming aan deze Hogeschool, die zich voorzichtig afvroeg of ik omgezwaaid was naar de juridische wetenschappen. Van Swaay acht de definitie van een proces zoals de British Standards Institution Glossary die geeft: "a process is the act of physically or chemically changing, including combining matter or converting energy" bruikbaar als daarbij wordt gezegd dat de veranderingen betrekking hebben op bulkgoeieren. Daarnaast geeft Van Swaay als morfologie van de proceskunde aan dat ze de fysische transportverschijnselen en de chemische reactorkunde omvat.

Zoals U ziet blijkt uit dit overzicht dat het inderdaad lastig is de proceskunde eenduidig te definiëren zodat er nogal wat verschillende omschrijvingen ontwikkeld zijn. Naar mijn mening is de hoofdoorzaak hiervan dat proceskunde een bij uitstek multidisciplinaire wetenschap in engere zin is, in engere zin omdat men de proceskunde wél tot de natuurwetenschappen moet rekenen. Als gevolg van dit multidisciplinaire karakter is de kans groot dat men een wat incompleet beeld krijgt van de proceskunde wanneer men iemand om een omschrijving vraagt. In dit incomplete beeld zullen vaak de disciplines waarmee gevraagde zelf het beste bekend is relatief zwaar gewogen worden. Het lijkt me daarom nuttig te proberen een zó neutraal mogelijke *morfologie* van de proceskunde te schetsen om daarna het zo verkregen, nog statische, beeld voor U in beweging te zetten zodat U een indruk krijgt hoe elk onderdeel zijn functie vervult in de "proceskunde aan het werk".

Dames en Heren,

Industriële processen bestaan, we zagen het reeds, uit reeksen van fysische, chemische of mechanische bewerkingen. Tot de *mechanische technologie* rekent men de bewerkingen als malen, vormen (extruderen), pelleteren, granuleren, persen, plastisch deformeren, verpakken en tenslotte de

werkplaatstechnieken. Uit het domein van de *fysische technologie* komen bewerkingen zoals verwarmen, koelen, destilleren, extraheren, kristalliseren, drogen en indampen. Deze fysische werkwijzen, waarvan er in het totaal niet veel meer dan een 20-tal zijn op te noemen, duidt men aan als eenheidswerkwijzen, "unit operations", een term door Arthur D. Little in 1915 geïntroduceerd (7). Het feit dat er slechts weinig eenheidswerkwijzen bestaan is een belangrijk gegeven omdat het betekent dat alle industriële processen zijn opgebouwd uit een betrekkelijk gering aantal bewerkingen. De *chemische technologie*, inclusief de biochemische technologie, brengt ons een scala van technisch uitvoerbare chemische reacties b.v. polymerisatiereacties en fermentatiereacties als mogelijke elementen voor een proces.

De zojuist besproken elementaire bouwstenen worden in een processchema tot een vaak complexe structuur van stromen geordend. Stromen kunnen zich vertakken, worden gerecirculeerd naar eerdere processtappen, of worden gekoppeld aan een tweede proces als hulp- of grondstof, zodat uiteindelijk een geïntegreerd systeem ontstaat geregeerd door de wetten van behoud van massa, energie, impuls en soms de Wet van Murphy (9). Een en ander wil ik graag nader illustreren aan de hand van een paar plaatjes. Het eerste beeld, Fig. 1, geeft een algemene schematisering van een proces met een drietal voorbeelden die voor zich zullen spreken. We zien het proces hier weergegeven als een blok waarin pijlen verdwijnen en waaruit pijlen te voorschijn komen. In het volgende beeld, Fig. 2, heb ik het proces in meer detail weergegeven. Stel nu dat we een proces waarin "eieren" in "eieren van Columbus" worden omgezet zouden beschouwen. De elementaire processtappen van dit eeuwen geleden ontwikkelde proces zijn duidelijk: we pakken grondstof (ei), zoeken stompe kant, deuken de stompe kant voorzichtig in, zetten ei met stompe kant naar beneden op tafel en we hebben het produkt verkregen. Als elke processtap volledig efficiënt verloopt kan het proces inderdaad op de in Fig. 2, aangegeven wijze worden uitgevoerd. Vaak is dit echter niet het geval, de elementaire processtappen hebben slechts een zeker rendement.

Het gevolg hiervan is dat er *bijprodukten* en *recirculatiestromen ter vergroting van de overall efficiëntie van het proces* zullen ontstaan, zoals we in Fig. 3 laten zien. In ons voorbeeld van zoëven is vooral de tweede elementaire processtap suspect: tikken we te hard dan krijgen we zeker bijproduct, tikken we te zacht dan veroorzaken we een recirculatiestroom. Durven we b.v. alleen maar héél voorzichtig te tikken zodat het rendement van processtap 2 nul wordt, dan krijgen we zelfs een kringproces van de eerste soort waarin we *nooit* één ei van Columbus zullen produceren. Sommige beslissingsprocedures in onze samenleving vertonen een opvallende analogie met het zojuist beschreven proces. Als U dit voorbeeld van een proces wat vergezocht vindt ben ik dat met U eens, toch komen een aantal basisbegrippen uit de redenen die tot bepaalde processtructuren leiden naar voren. Een voorbeeld van een werkelijke processtructuur van een suikerfabriek kunt U in Fig. 4 zien.

Een uitermate boeiend gebied van de proceskunde richt zich op het ontwikkelen van de optimale structuur voor een proces uit een vaak zeer groot aantal mogelijkheden. Deze processynthese is een zeer creatieve fase, waarin technische kennis, vindingrijkheid en vermogen tot associatief en lateraal denken allen belangrijke factoren zijn. Heeft men eenmaal een veelbelovende structuur gevonden op basis van voorlopige argumenten en ondersteund door experimenteel werk, dan volgt een niet minder boeiende stap: het analyseren van de informatiestroom-structuur van de vergelijkingen (massabalansen, energiebalansen, impulsbalansen) die de gekozen structuur beheersen of, wat minder poëtisch uitgedrukt: we rekenen het proces door. Het resultaat van een dergelijke analyse is een model dat het stationaire of instationaire gedrag van het proces simuleert afhankelijk van de te kiezen procescondities. Dergelijke modellen vormen een waardevol hulpmiddel voor het vergelijken van verschillende processtructuren op hun economische merites zodat de beste keuze gedaan kan worden. Daarnaast levert een dergelijk model, mits het voldoende gedetailleerd is, mogelijkheden om procescondities te optimaliseren zodat het hoogste totale rendement wordt bereikt.

Tenslotte zijn zulke modellen mits ze de dynamica van het proces kunnen simuleren een nuttig hulpmiddel om noodzakelijke meet- en regelapparatuur aan te geven, zoals onlangs op deze plaats nog vrij uitvoerig door Van Dixhoorn is besproken. Er zou nog veel meer interessants over de structuur van processen te zeggen zijn maar ik wil nu verder gaan met een nadere detaillering van onze morfologie van de proceskunde.

U heeft wellicht op dit moment een beeld van een proces als te zijn opgebouwd uit een aantal stappen die via een zorgvuldig gekozen, mogelijk vrij complexe en nauw verweven, structuur tot een systeem zijn samengebouwd. Het spreekt vanzelf dat een zekere kennis van de essentiële processtappen zelf nodig is voor men hieruit een redelijk betrouwbaar systeem opbouwt. Beschouwen wij nu de processtappen op zich dan blijken deze elk plaats te vinden in een of meer apparaten die meestal groot zijn ten opzichte van de schaal waarop de eigenlijke fysische, chemische of mechanische verschijnselen zich afspelen. In een sproei-droger, een in de voedingsmiddelenindustrie vaak toegepast type droger bijvoorbeeld, vindt transport van het te verwijderen water plaats vanuit door verstuiven verkregen druppels naar verhitte drooglucht. Voor een goed begrip van de werking van het apparaat heeft men in de eerste plaats behoefte aan een beschrijving van het transport van warmte vanuit de drooglucht naar de individuele druppels, van transport van water vanuit het inwendige van een druppel naar het druppeloppervlak en van transport van waterdamp vanaf het oppervlak naar de drooglucht. Daarenboven zal men echter een inzicht moeten hebben in hoe de druppels zich als zwerm gedragen en hoe de mengtoestand en snelheidsverdelingen in de drooglucht de verblijftijd van druppels in de droger en de temperatuur- en vochtgehalteverdelingen van de drooglucht beïnvloeden. We kunnen als het ware in de processtap op zich weer een inwendige structuur waarnemen waarmee elementairprocessen (transportverschijnselen rond een druppel b.v.) geordend worden tot een zo effectief mogelijk werkend totaal. De proceskundige zal dan ook goed vertrouwd zijn met de analyse van unit operations en met apparatuur; met de fenomenologische

natuurkunde, in het bijzonder met het vakgebied van de fysische transportverschijnselen, waarin de analyse van transport van stof, energie en impuls op een rijtje worden gezet; met de chemische thermodynamica en de fasenleer, die ons gevoel geven over theoretisch te bereiken selectiviteiten van chemische reacties en van stofoverdracht tussen fasen en ons in het algemeen behoeden tegen de eerste en tweede hoofdzonde van de thermodynamica en tenslotte met de chemische- en biochemische reactorkunde die ons b.v. de interactie tussen fysische transportmechanismen van reactanten en de conversiesnelheid van reacties met bekende kinetiek geeft.

Naast bovengenoemde chemische en fysische basiskennis is een zo compleet mogelijke kennis van grondstoffen, producten en halfabrikaten nodig om tot een werkend proces te komen. Voor deze kennis zal de proceskundige vaak terugvallen op specialisten of zich *ad hoc* verdiepen in voor een bepaald proces vereiste informatie. Kan men voor de processynthese in de petroleum- en chemische technologie de vereiste produktkennis globaal baseren op inzicht in de organische, anorganische en fysische chemie, bij procesontwikkeling voor voedings- en genotmiddelentechnologie en biochemische technologie zijn ook inzicht in chemie van eiwitten, vetten en koolhydraten, biochemie, enzymologie, microbiologie en hygiënische procesvoering noodzakelijk. Omdat de producten uiteindelijk door de mens geconsumeerd zullen worden is tenslotte voldoende bekendheid met toxicologie en humane voeding van eminent belang.

Op basis van het bovenstaande kom ik tot de volgende morfologie van de proceskunde. Het is een multi-disciplinaire wetenschap waarin de volgende vier hoofdaspecten voorkomen:

1. Fysische transportverschijnselen.
2. Chemische- en biochemische reactorkunde.
3. Kennis van unit operations en apparatuur.
4. Processynthese van 1 t/m 3 + produktkennis tot processen.

U ziet het: een wetenschaap met vier poten.

Dames en Heren,

De proceskunde richt zich dus uiteindelijk op *procesontwerp* en op het ontwikkelen van nieuwe of verbeterde processen: *de procesinnovatie*. Over deze procesinnovatie, waarin vooral het synthese-element uit de bovengenoemde morfologie naar voren komt, wil ik als U me dat toestaat gaarne nog enige algemene opmerkingen maken, gevolgd door een toespitsing op de voedings- en genotmiddelenindustrie.

Procesontwikkeling of procesinnovatie kunnen we in het licht van wat ik bij de aanvang van deze rede over processen stelde zien als "verandering van een reeks veranderingen". Men is in de wiskunde gewend de verandering van een verandering de tweede afgeleide te noemen die bij monotoon verlopende functies tot veelal verwaarloosbare tweede orde effecten aanleiding geeft. In het voor tactische doeleinden gereserveerde arsenaal van vakjargon voor natuurwetenschappers is de uitdrukking "maar dat is een tweede orde effect" dan ook zeer geliefd. Naar mijn mening is het hoofdoel van de proceskunde nu echter juist gelegen in de *verandering* van de reeks veranderingen die een proces uitmaken, waarbij U dan verandering als verbeterende verandering moet interpreteren. Dit proces van procesinnovatie is een boeiend terrein, waarin we globaal de volgende stadia kunnen onderscheiden (Bright, 10): het voorspellen van een mogelijkheid tot innovatie, het concipiëren van één of meer alternatieve processen die tot de voorspelde innovatie leiden, experimentele verificatie van deze alternatieven op kleine schaal, ontwikkeling van het proces op grotere schaal in een proeffabriek of pilot plant, commerciële introductie of het eerste operationele gebruik, algemene aanvaarding van het nieuwe proces, en tenslotte proliferatie van de toepassing van het proces, ook wel aangeduid met de term technology transfer. Essentieel zijn uiteraard de eerste twee stappen, het identificeren van een mogelijkheid tot innovatie en het aangeven van een haalbaar proces. Men kan hierbij onderscheid maken tussen inno-

vatiemogelijkheden die ontstaan door ontdekkingen, "science push", en mogelijkheden ontstaan door het signaleren van een zich ontwikkelende behoefte, "demand pull". Technologisch verkennen met zijn technieken als trend extrapolatie, omhullende curve analyse, substitutie analyse, en Delphi-methoden levert een, zij het gebrekkig en incompleet, beeld van mogelijke toekomstige sociaal-economische omgevingen of draaiboeken waartegen de procesinnovatie getoetst kan worden op levensvatbaarheid. Aspectenonderzoek levert in het ideale geval een afweging van technische-, economische-, milieu-, juridische-, sociaal economische- en planologische aspecten die een nieuw proces kan hebben als het op grote omvang wordt uitgevoerd.

Kunnen de zojuist genoemde technieken, technologisch verkennen en aspectenonderzoek nuttig zijn, zij zullen niet vaak wezenlijk bijdragen tot de *feitelijke conceptie* van een procesvernieuwing. Hiervoor is een creatieve fase nodig waarvoor men volgens Haefele (11) weinig andere richtlijnen schijnt te hebben dan dat men om in de juiste stemming te komen eens kan proberen in een autobus te gaan zitten, waar Kekulé de structuur van benzeen en Poincaré bepaalde speciale functies bedacht, een jichtaanval te krijgen of 's ochtends tweemaal een bad te nemen. Serieuzer pogingen om het juiste klimaat te scheppen als brainstorming en zijn geperfectioneerde vorm van synetics (12) en morfologische analyse (13,14) kunnen nuttig zijn. Er is mij tenminste een geval bekend waar morfologische analyse tot een patenteerbaar proces voor het drogen van voedingsmiddelen heeft geleid (Clark, 15). Judson King (16) gaf recentelijk een voortreffelijk voorbeeld van het toepassen van morfologische analyse op de innovatie van dehydratieprocessen voor voedingsmiddelen.

Ik wil de aandacht nu voornamelijk richten op de voedings- en genotmiddelenindustrie, één der belangrijkste takken van industrie in onze samenleving, en proberen globaal een soort draaiboek van mogelijke ontwikkelingen te geven, waaruit potentiële procesinnovaties zijn af te leiden. In 1972 was de omzet in de voedings- en genotmiddelenin-

dustrie in Nederland Hf 27 miljard exclusief O.B. (17) dat is Hf 10 miljard meer dan de chemische industrie en slechts 3 miljard minder dan de grootste tak van industriële bedrijvigheid, de metaalnijverheid met inbegrip van de elektrotechnische industrie. Van de 42% van onze beroepsbevolking die in de nijverheid werkzaam zijn werkt 11,6% in de voedingsmiddelenindustrie, d.w.z. circa 150.000 mensen, verdeeld over ongeveer 1800 bedrijven (18,19). Ter vergelijking: in de chemische industrie waren over dezelfde periode 100.000 man werkzaam in 815 bedrijven. Het aantal bedrijven met 1000 man personeel of meer is in de voedingsmiddelenindustrie 13, in de chemische industrie 16. De voedingsmiddelenindustrie gebruikte in 1971 voor een aankoopwaarde van Hf 14 miljard aan agrarische grondstoffen waarvan 60% door de nationale landbouw en visserij werden geleverd, 37% geïmporteerd en het restant onderling geleverd werd.

In deze voedings- en genotmiddelenindustrie vinden we nu een grote verscheidenheid aan bedrijfstakken; men kan er globaal een 17-tal onderscheiden (19). Uiteraard zijn vele van de processen in de voedings- en genotmiddelenindustrie zeer oud (b.v. winning van suiker, zetmeel, gelatine, bakprocessen en vele gistingsprocessen) en vanuit het huishouden en het ambacht voortgekomen. Naast de verscheidenheid aan grondstoffen en bedrijfstakken is er een verscheidenheid in het doel waarvoor de verwerking van de grondstof plaatsvindt. We kunnen globaal onderscheid maken tussen vier groepen van verwerkingsprocessen. In de eerste plaats zijn er de processen waar één of meer waardevolle componenten worden gewonnen uit de grondstof; de grondstof wordt als het ware *opgedeeld in fracties* waarvan er een aantal waardevol zijn. Voorbeelden zijn de winning van plantaardige oliën uit sojabonen, raapzaad of zonnebloemzaden; winning van zetmeel uit mais, tarwe of aardappelen; suikerfabrikage; extractie van gebrande koffie en de winning van vruchtesappen. Een tweede groep processen betreft het *vorm geven* aan bulkmaterialen tot samengestelde produkten en vormt ruwweg een tegenhanger van de eerste groep processen. Ik wil hier noemen de fabriekage van deegwaren, het spinnen en extruderen van eiwitten en de margarinefabrikage. De derde groep processen

heeft tot doel een betere houdbaarheid van produkten te verkrijgen, men denke aan *stabilisatieprocessen* als hitte-sterilisatie, invriezen of drogen van materialen. Een vierde groep, die weer als een tegenhanger van de derde gezien kan worden, beoogt juist gewenste omzettingen te laten plaatsvinden, dus *transformatie* in plaats van stabilisatie. Tot deze laatste groep behoren om er maar enkele te noemen, het branden van koffie, bakprocessen, talrijke fermentatieprocessen en de boeiende opkomende technologie waarbij op een drager geïmmobiliseerde enzymen als katalysator worden gebruikt. Vele processen uit de biochemische technologie (single cell proteïnen, penicilline fabriekage) en de biologische en fysisch chemische zuivering van water zou men ook tot deze klasse kunnen rekenen. De hierboven geschetste grote verscheidenheid in de voedingsmiddelenindustrie, nog eens versterkt door het grote aantal individuele bedrijven per bedrijfstak, en het vaak traditionele karakter betekenen een geheel ander klimaat voor de procesttechnologie dan het beeld dat de "science based" chemische industrie biedt.

Is de omzet van de voedingsmiddelenindustrie aanmerkelijk groter dan die in de chemische industrie, de netto toegevoegde waarden tegen factorkosten zijn vergelijkbaar (ca. Hf. 4,5 miljard in 1970). Zet men de uitgaven voor speuren en ontwikkelingswerk in beide industrieën naast elkaar als percentage van de netto toegevoegde waarde tegen factorkosten, zelfs wanneer men de toegevoegde waarde van de voedings- en genotmiddelenindustrie corrigeert voor het gedeelte dat aan verpakking van produkten wordt besteed en derhalve niet door proces- en produkttechnologische ontwikkeling beïnvloedbaar is, dan valt op dat in de voedings- en genotmiddelenindustrie ten opzichte van de chemische industrie een geringer bereidheid bestaat tot uitgaven voor research en ontwikkeling (Thijssen, 20). Het complexe karakter van voedings- en genotmiddelen, de relatief hoge bijdrage van grondstofkosten in totale produktiekosten, de naar verhouding kleine schaal van de bedrijven, en een vaak nog onduidelijke relatie tussen kwaliteit van een produkt en zijn marktwaarde zijn hier mogelijke oorzaken. Het is echter aan weinig twijfel onderhevig dat een aantal van deze factoren in de nabije toekomst voor een deel zullen wegvallen waardoor noodgedwongen een aanzienlijke

verruiming van de bereidheid tot investering in proces- en produktontwikkeling zal ontstaan. Ik wil hier de volgende trends noemen.

Een noodzaak tot betere benutting van grondstoffen is zich aan het ontwikkelen. Hiervoor zijn verschillende argumenten aan te voeren. Zo is het relatief hoge percentage grondstofkosten in de totale produktiekosten in zich een stimulans tot verhoging van het rendement van grondstoffengebruik. Ook zal efficiënt gebruik van grondstoffen leiden tot innovaties op het gebied van directe menselijke consumptie van geïsoleerde plantaardige eiwitten. Procesontwikkeling en -innovatie op het gebied van winning van sojaeiwit, melkeiwit afkomstig uit wei, aardappel-eiwit, rapzaadeiwit e.d., en onderzoek naar toepassingen van dergelijke eiwitten in de menselijke voeding, vormen uitdagingen voor de voedingsmiddelentechnoloog. Processen waarbij afvalstoffen worden omgezet in nuttige produkten (transformatieprocessen), zoals het door micro-organismen produceren van eiwit op koolhydraatrijke afvalprodukten vormen hierop geen uitzondering.

Efficiënter gebruik van energie vormt bij de sterk stijgende energieprijzen een prikkel tot herwaardering van optimale procescondities of vervanging van energie-intensieve processtappen door minder energievragende. In de margarinefabrikage bijvoorbeeld bestaat 17% van de produktiekosten uit energiekosten (21), hoewel het niet duidelijk is hoe men dit percentage zou kunnen verlagen. Wat besparingsmogelijkheden op ons totale nationale energiebudget (2.3×10^{18} J/jaar) betreft lijkt de voedingsmiddelenindustrie (7×10^{16} J/jaar) echter slechts een relatief geringe bijdrage te kunnen leveren: tot 1985 maximaal een vermindering van minder dan 0,2% van het nationale verbruik tegen ca. 5% door betere isolatie van huizen en gebouwen (21).

Veranderingen in de sociale gewoonten van de mens als toename van gebruik van maaltijden in kantines, restaurants, scholen e.d. en toename van behoefte aan convenience foods (werkende vrouw) leiden tot interessante

mogelijkheden voor introductie van nieuwe produkten, waarbij tevens een steeds toenemende verantwoordelijkheid voor kwaliteit, toxicologische aanvaardbaarheid en juiste balancering van het voedingsmiddelenpakket tussen eiwitten, vetten, koolhydraten en ruw vezelgehalte bij de voedingsmiddelenindustrie zal komen te liggen.

Verlaging van milieubelasting zoals vermindering van watergebruik door sanering, procesmodificatie en terugwinning van waardevolle componenten, vormt een fascinerend werkterrein waar reeds belangrijke successen werden geboekt, met name bij de suiker- en zetmeelfabrikage.

Dames en Heren,

Ook deze rede nadert zijn einde. Ik hoop er enigszins in te zijn geslaagd U een algemeen beeld te schetsen van het vakgebied van de proceskunde en van de vele waardevolle bijdragen tot innovatie die de proceskundige aan de levensmiddelentechnologie kan leveren. De opleidingssituatie in Nederland is zo dat uitsluitend aan de Landbouwhogeschool een specifiek op de voedings- en genotmiddelenindustrie gerichte technologische opleiding wordt verzorgd. De proceskundige differentiatie in deze opleiding heeft voor de voedingsmiddelentechnologie het principiële voordeel boven de opleidingen in de scheikundige technologie dat vakken als levensmiddelenchemie en -microbiologie, technische microbiologie en andere biologisch getinte vakken een integrerend deel van de studie uitmaken. Wanneer wij erin slagen de proceskundige kern in deze differentiatie voldoende "hard" te maken, ik denk hier b.v. aan het door het Britse Institution of Chemical Engineers onlangs opgestelde kernprogramma voor chemical engineering als mogelijk uitgangspunt, dan geloof ik dat we aan onze Hogeschool een fraaie opleiding te bieden hebben. Wij hopen vanuit de Sectie Proceskunde hier een constructieve bijdrage toe te leveren. In dit verband spreek ik ook gaarne de wens uit dat de samenwerking op het gebied van onderwijs en onderzoek met de Vakgroep Fysische Technologie aan de TH in Eindhoven vruchten zal afwerpen.

Naast het terrein van de voedingsmiddelentechnologie zijn de gebieden van technische microbiologie en de milieuhygiëne, in het bijzonder de waterzuivering en bestrijding van industriële luchtverontreiniging, probleemgebieden waaraan de proceskunde een nuttige bijdrage kan leveren.

De term waterzuivering op zich duidt reeds op een proces waarbij een grondstof (verontreinigd water) wordt omgezet in een produkt (het schone water). Processtappen die hierbij gebruikt worden vertonen vaak grote overeenkomst met boven reeds aangegeven unit operations uit de procesindustrie. Indien men in de kennis van luchtverontreiniging ook mogelijkheden tot het bestrijden van industriële luchtverontreiniging wil betrekken vormt proceskunde eveneens een belangrijk element, omdat de proceskunde de technische mogelijkheden en limitaties aangeeft waarmee men rekening zal moeten houden of men dit nu prettig vindt of niet. Enkele voorbeelden mogen een en ander verduidelijken.

1. Het terugbrengen van het niveau van SO_2 -emissies veroorzaakt door procesindustrie heeft proceskundige aspecten. Men zal immers in staat moeten zijn tegen aanvaardbare kosten of zwaveldioxide uit rookgassen te verwijderen of fossiele brandstoffen vóór verbranding te ontdoen van zwavelhoudende verbindingen om een oplossing voor dit probleem te kunnen realiseren.
2. Het afvangen van fijnverdeelde vaste stof uit gassen (b.v. vliegias, roet van verbrandingssystemen, topprodukt van stofcyclonen, attritiestof van katalysatoren) is een belangrijke bewerking ter voorkoming van luchtverontreiniging in b.v. metallurgische-, voedingsmiddelen-, veevoederindustrie, bij opwekking van elektrische energie en het katalytisch kraken van petroleum fracties.
3. Voor het verwijderen van opgeloste schadelijke componenten in gassen kan men deze opnemen in een geschikt oplosmiddel (b.v. water) waarin de component in kwestie redelijk oplost. Deze eenheidsbewerking, absorptie genaamd, wordt in de procesindustrie op grote schaal toegepast.

4. Waterzuiveringsprocessen (biologische afbraak, fysisch chemische processen) omvatten de unit operations bezinken, filtreren, flotatie, flocculeren, strippen, adsorptie, ionenwisseling en membraanprocessen. Het kwantificeren van de biologische afbraak van organische stof in oxydatiesystemen of anaerobe gistingssystemen zijn in wezen problemen uit de chemische reactorkunde.

Er is echter nog een tweede aspect aan het belang van een zekere proceskundige kennis voor milieuhygiënist. Afvalwater en luchtverontreiniging veroorzaakt door de industrie, (petrochemische, metallurgische, voedingsmiddelen etc.) komt vrij op verschillende plaatsen in productieprocessen. Er is derhalve een grondige kennis van deze processen nodig om mogelijkheden aan te geven waarop men een verlichting van de milieubelasting kan bereiken. De milieuhygiënist zal in een dialoog met de proceskundige staan bij het transformeren van wensen in praktische oplossingen: beiden zullen elkaars "taal" moeten verstaan wil deze dialoog tot resultaat leiden.

Vanuit de Sectie Proceskunde werken we dan ook gaarne mee aan het opzetten van een serie op de milieutechniek afgestemde kandidaatscolleges proceskunde. Ook in het pakket afstudeerontwerpen proberen we een aantal elementen op te nemen waarin ingenieursstudenten van de richting milieuhygiëne problemen uit hun vakgebied kunnen herkennen, zoals adsorptie aan actieve kool voor zuivering van afvalwater, bereiding van drinkwater en zuivering van procesgassen.

De *biochemische technologie* tenslotte vormt een werkerrein waarin de Landbouwhogeschool goede opleidingskansen te bieden heeft. Basisvakken als microbiologie, biochemie, enzymologie, technische microbiologie, meet-, regel- en systeemtechniek, procesdynamica en proceskunde zijn allen aanwezig. In de studierichting N-40 kan zonder een belangrijk beslag te leggen op financiële middelen uit deze bestaande elementen door adequate coördinatie een aantrekkelijk studiepakket worden opgebouwd. In nauwe samenwerking

met de groep technische microbiologie is een eerste schets van een dergelijke studie opgezet. De problemen in de biotechnologie zijn legio, terwijl vele sterk proceskundige aspecten vertonen zie b.v. Emery (22). Zo liggen er vragen op het gebied van sterilisatie van fermentatiemedia (invloed van pH, ionsterkte, osmotische druk en samenstelling op sterilisatiekinetiek; sterilisatie van slurries); warmte- en stofoverdracht in fermentaties (pellet-fermentatie, reologie van beslagen); mengeffecten (menggraad, mengtijden, verblijftijdsspreiding bij het opschalen van continue fermentatie); nieuwe fermentorgeometrieën en studie van fermentatiekinetiek (stabiliteit van fermentaties in gemengde cultures, prooi-roofdier oscillaties, dynamisch gedrag bij overgang van batch naar continue cultures). Naast deze reactortechnische problemen ligt interessant werkterrein in het winnen van gewenste componenten uit een fermentatieproces. In het reeds aangehaalde rapport van Emery worden genoemd het regelen van omzettingssnelheid in ladingsgewijze fermentaties opdat optimale aansluiting met de continue opwerkingstrein wordt gevonden; continue produktverwijdering uit ladingsgewijs werkende fermentors; integratie van membraanscheidingsmethoden met fermentaties of enzymatische reacties en recirculatie van gebruikt proceswater (b.v. bij grote schaal continue produktie van single cell proteïnen). Tenslotte wil ik in deze geenszins complete lijst noemen het met een zo gunstig mogelijk rendement winnen van enzymen en pharmaceutica uit organen van dieren met behulp van fysische scheidingsmethoden.

Dames en Heren,

Aan het eind gekomen van deze rede zij het mij vergund bij de officiële aanvaarding van mijn ambt mijn eerbiedige dank te betuigen aan Hare Majesteit de Koningin voor het hechten van Haar goedkeuring aan mijn benoeming aan de Landbouwhogeschool. Voorts wil ik vanaf deze plaats een ieder danken die binnen of buiten deze hogeschoolgemeenschap zijn vertrouwen in mij heeft uitgesproken en zo een voordracht mogelijk heeft gemaakt. Ik zal mij inspannen dit vertrouwen waar te maken.

Waarde Leniger,

Jij hebt mijn eerste kennismaking met de technologie geredigeerd. Veel heb ik daarnaast geleerd van de gevoel voor systematiek, de snelle wijze waarin je een overzicht over allerlei problematiek weet te formuleren en hieruit een prioriteitenvolgorde weet af te leiden. Ik ben dankbaar dat ik in de voor ons liggende periode van onverwachte nauwe samenwerking, omdat je het Rectoraat van onze Hogeschool moest neerleggen, nog dikwijls in de gelegenheid ben op je kennis te mogen terugvallen.

Waarde Thijssen,

Tien jaar geleden mocht ik je voor het eerst ontmoeten bij een bespreking van mijn promotie-onderzoek waarin je als copromotor naast Leniger participeerde. Ik denk met dankbaarheid terug aan deze periode, die duurde van 1965 tot 1968, en aan het daarop aansluitende jaar waar ik in de staf van de sectie fysische technologie aan de TH-Eindhoven veel van je geleerd heb. Dat wij, na een onderbreking van enkele jaren weer een geregelder contact hebben en een samenwerking tussen de vakgroepen Fysische Technologie aan de TH-Eindhoven en Levensmiddelentechnologie gestalte begint te krijgen, verheugt me zeer. Ik hoop nog vaak getuige te kunnen zijn van de aanstekelijk enthousiasme en je vermogen tot lateraal denken, beide onmisbare ingrediënten voor procesinnovatie.

Waarde Zuideweg,

Na de periode in Eindhoven en een kort verblijf in de Verenigde Staten mocht ik de praktische toepassing van de proceskunde beoefenen aan het Koninklijke-Shell Laboratorium te Amsterdam, in de afdeling Equipment Engineering, die in deze tijd onder je leiding stond. Je voorliefde voor jouw vuistregel van de fysische technologie kende, namelijk dat met een drietrapsuitwisseling, hetzij in tegenstroom, hetzij in gelijkstroom de maximaal haalbare

conversie vrijwel bereikt is, (misschien moet ik hier aan toevoegen: "op tweede orde effecten na") zou ik onze contacten willen typeren als de derde trap van mijn wetenschappelijke ontwikkeling die misschien tot de in mijn geval maximale mogelijke conversie heeft geleid. Het nemen van de moeilijke beslissing voor medewerkers van het KSLA om de werkelijke wereld te verwisselen voor de universitaire wordt, voor het geval men zo gelukkig is in de proceskunde of de fysische technologie werkzaam te zijn, aanzienlijk vergemakkelijkt doordat het nauwelijks een afscheid te noemen is: men komt in de nieuwe werkkring veel oude bekenden tegen.

*Dames en Heren Medewerkers van het Koninklijk-Shell
Laboratorium te Amsterdam,*

Uw instituut vormt één van de best mogelijke omgevingen voor het praktisch uitvoeren van proceskunde en procesinnovatie die ik ken. Ik denk dan ook met veel genoegen aan mijn eigen verblijf op de afdeling Equipment Engineering terug, waarnaast ik de voor mij waardevolle en leerzame contacten met de afdelingen FS, DGC, het Centrale Kantoor en de advising technologist functie in Pernis wil memoreren.

*Hoogleraren, Lectoren, Leden van de Wetenschappelijke
Staf, Dames en Heren Medewerkers aan de Landbouwhogeschool,*

Uit mijn betoog zal duidelijk zijn geworden dat de proceskunde raakvlakken met verscheidene vakgebieden aan de Landbouwhogeschool heeft. Dat de Sectie Proceskunde is opgenomen in de Vakgroep Levensmiddelentechnologie is een waarborg voor nauwe contacten met de voedings- en genotmiddelentechnologie waarop het onderwijs en onderzoek in de Sectie Proceskunde voor een belangrijk, naar mijn schatting twee derde, deel gericht is. In het afgelopen jaar heb ik, zoals gezegd, tot mijn vreugde ervaren dat ook vanuit de studierichting Milieuhygiëne een beroep op de proceskunde gedaan wordt. Ik stel mij dan ook veel

voor van onze samenwerking om studenten vertrouwd te maken met enkele proceskundige aspecten van processen toegepast in de waterzuivering en de bestrijding van luchtverontreiniging. Vanuit de Vakgroepen Natuurkunde en Fysische Chemie krijgt de Sectie Proceskunde de zo ontontbeerlijke steun op het terrein van de fysische transportverschijnselen, meet- en regeltechniek, de chemische thermodynamica en de fasenleer.

Een basisvoorwaarde van samenwerking tussen individuen en groepen is dat de bereidheid tot het aan elkaar op open wijze voorleggen van problematiek aanwezig is, waarbij men in zijn handelen niet geleid moet worden door een zekere onrust zijn eigen identiteit te verliezen doch eerder door het uitzicht op een vollediger en daardoor aanmerkelijk bruikbaar resultaat als gevolg van de samenwerking. Ik heb een flinke dosis vertrouwen dat de samenwerkingsverbanden die in deze rede genoemd zijn in dit licht tot resultaten mogen leiden.

De medewerkers van de Sectie Proceskunde wil ik danken voor hun bijdragen tot de goede samenwerking die in het afgelopen jaar gestalte kon krijgen en waarvan ik hoop dat zij bestendig wordt in enthousiasme voor ons mooie vak en in het vaak produceren van een ei van Columbus als oplossing voor zich voordoende problematiek.

Dames en Heren Studenten,

In 1846 schetste Souvestre, een van de eerste futurologen avant la lettre in het 19e eeuwse Frankrijk, in zijn "Le monde tel qu'il sera dans l'an 3000" een beeld van een socialistisch utopia waarin stoommachines en elektromotoren de handen der mensheid zouden hebben vrijgemaakt van werk, hun geesten bevrijd van denken en hun harten van voelen. Men krijgt de indruk dat dit voorspelde scenario vrij accuraat is geweest op de samendrukking van de tijdschaal van 3000 tot 2000 na. Een samendrukking die op zich weer aanleiding geeft tot het gevoel van onbehagen dat Toffler "future shock" noemde. Dit wat cynische

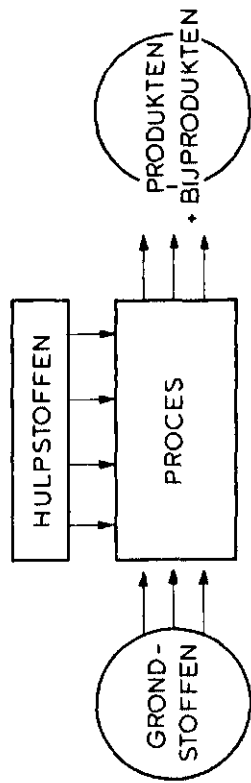
beeld ten spijt heeft het achter ons liggende jaar waarin ik met een aantal van U intensief contact heb mogen hebben, mij geleerd dat U met handen, hoofd en hart enthousiasme voor de proceskunde toont. Ook voor de toekomst heb ik daarom het vertrouwen dat U Uw studie niet al te zeer opmeet in studiebelastinguren maar in toename van kennis en kunde. Hiermee wil ik niet zeggen dat ik U zou aanraden wat Auden deed: "Thou shalt not answer questionnaires, nor quizzes upon world affairs, nor with compliance take any test. Thou shalt not sit with statisticians, nor commit a social science". Integendeel.

U allen dank ik voor Uw aandacht.

Literatuur

1. I. Tjing, Het Boek der Veranderingen, 5e druk, Ankh-Hermes, Deventer, 1973, blz. 142.
2. K. Rietema, "Vergrotingsproblemen in de procesindustrie", Rede, Technische Hogeschool Eindhoven, 15 januari 1960, blz. 4.
3. H.A.C. Thijssen, "Samenspel der technologieën", Rede, Technische Hogeschool Eindhoven, 8 oktober 1965, blz. 9.
4. D. Thoenes, "Fysische verschijnselen in de procesindustrie", Rede, Technische Hogeschool Twente, 2 februari 1967, blz. 4.
5. N.W.F. Kossen, "Penetratie", Rede, Technische Hogeschool Delft, 1 mei 1968.
6. W.P.M. van Swaay, "Proceskunde", Rede, Technische Hogeschool Twente, 29 november 1973, blz. 4.
7. F.J. Zuiderweg, "Grensvlakken en Identiteit", Rede, Technische Hogeschool Delft, 20 maart 1974, blz. 6.
8. H.W. Cremer, T. Davies, "Chemical Engineering Practice", Vol. I, p. 21.
9. Murphy's Law: "Things tend to go wrong".
10. J.R. Bright (Ed.), "Technological Forecasting for Industry and Government", Prentice Hall, 1968, p. 343-369.
11. J.W. Haefele, "Creativity and Innovation", Reinhold, 1962, p. 4, 15.
12. W.J.J. Gordon, "Synectics", Harper & Bros, 1961.

13. Stichting Toekomstbeeld der Techniek, "Technologisch verkennen; methoden en mogelijkheden", Publ. 15, p. 20.
14. J.R.M. Alger, C.V. Hays, "Creative synthesis in design", Prentice Hall, 1964.
15. J.P. Clark, "Design of a new freeze drying process", Ph.D.-Thesis, U.C. Berkeley, 1969.
16. C.J. King, "Advances in preconcentration and dehydration of foods", Ed.A. Spicer, Appl. Sci. Publ., 1974.
17. Statistisch Zakboek, 1974.
18. Maandstatistiek van de industrie, nov. 1971, p. 740.
19. "Enige kerncijfers aangaande de voedings- en genotmiddelenindustrie", Ministerie van Landbouw en Visserij, juni 1974.
20. H.A.C. Thijssen, "Proceskunde in de voedingsmiddelenindustrie", lezing KNCV/KIVI, juni 1974.
21. Stichting Toekomstbeeld der Techniek, "Energy Conservation: Ways and Means", Publ. 19, 1974.
22. N. Emery, Rapport "Biochemical Engineering", voor Inst.Chem.Engrs en Scientific Research Council, nog niet gepubliceerd.



GRONDSTOFFEN	HULPSTOFFEN	FABRIKAGE PROCES	PRODUKTEN	BIJPRODUKTEN
aankomend student	proefveldjes, chemicalien, glaswerk, wetensch. staf, laboratoria, kollegediktaten e.d.	studie aan L.H.	landbouwk. ingenieur	dissertaties, wetensch. publicaties etc.
beklaagde	advokaat, officier van justitie e.d.	rechtszaak	berechte beklagde	jurisdictie

1.

2.

3.

Fig. 1

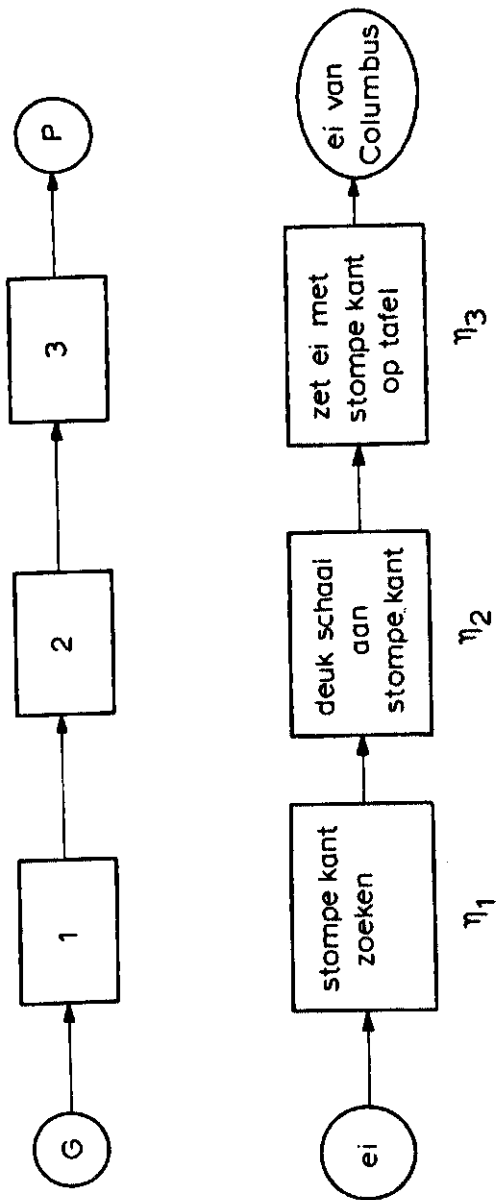


Fig. 2 PROCES ($\eta_1 = \eta_2 = \eta_3 = 100\%$).

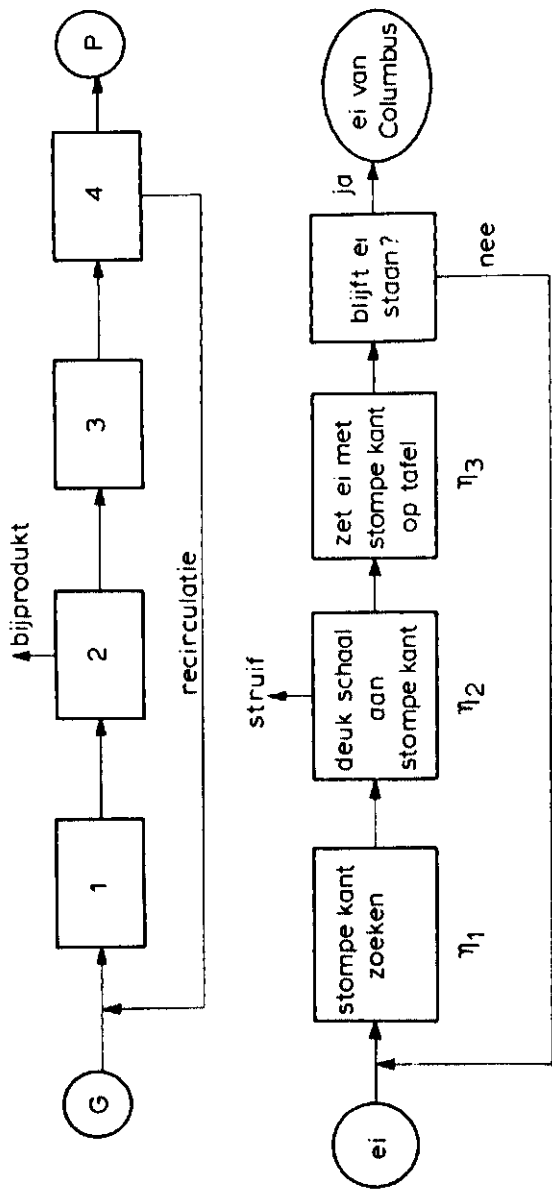


Fig. 3 Proces met recirculatiestroom en bijproduct.
(minstens één van η 's < 100%)

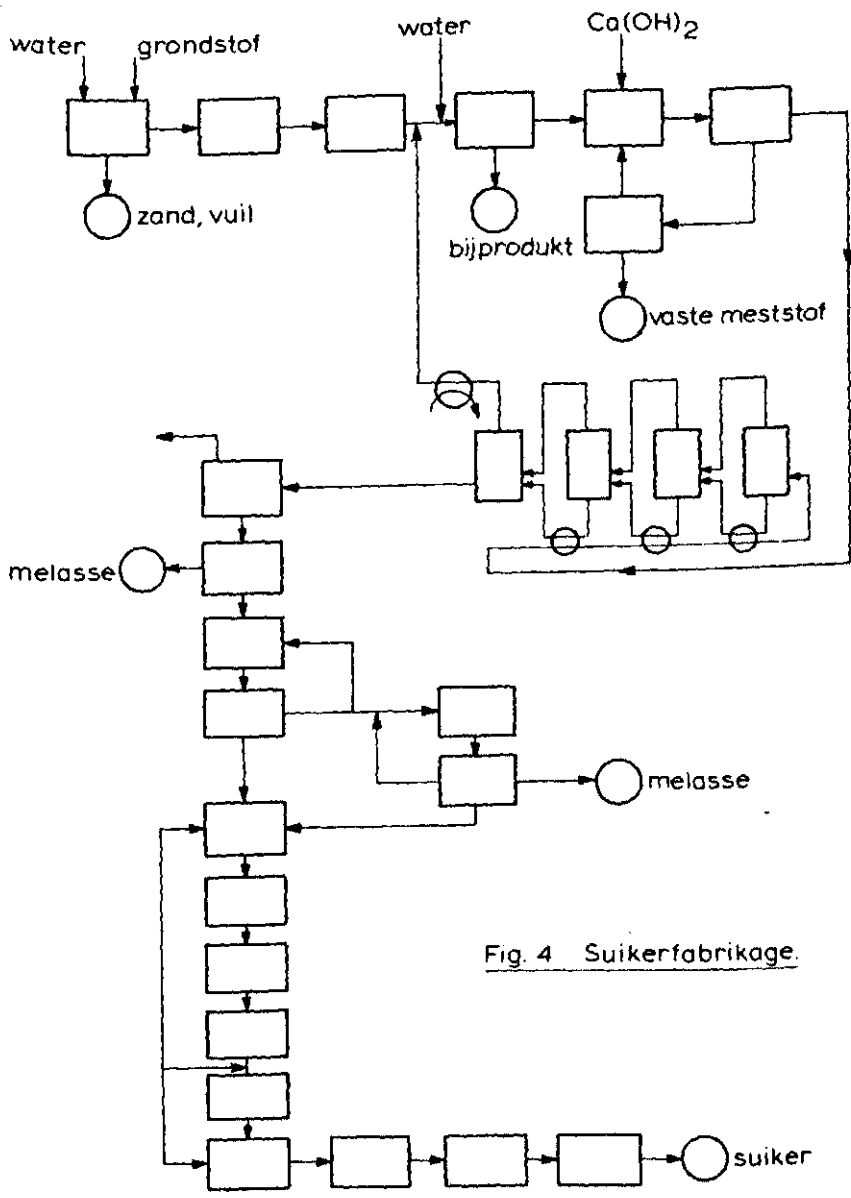


Fig. 4 Suikerfabrikage.