

## Vergrotingsproblemen in de procesindustrie

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

Rietema, K. (1959). *Vergrotingsproblemen in de procesindustrie*. Wolters.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1959

**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.

# VERGROTINGSPROBLEMEN IN DE PROCESINDUSTRIE

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING VAN HET AMBT  
VAN GEWOON HOGLERAAR IN DE AFDELING DER  
SCHEIKUNDIGE TECHNOLOGIE AAN DE  
TECHNISCHE HOGESCHOOL TE EINDHOVEN  
OP VRIJDAG 15 JANUARI 1960

DOOR

Dr. K. RIETEMA

*Mijne Heren Curatoren,  
Mijne Heren Hoogleraren en Adviseurs,  
Dames en Heren leden van de wetenschappelijke, technische  
en administratieve staf,  
Dames en Heren studenten,  
en voorts  
Gij allen die door Uw aanwezigheid van Uw belangstelling  
blijk geeft,*

*Dames en Heren,*

Het is U allen bekend dat gedurende de na-oorlogse periode over de gehele wereld een enorme expansie van de industrie heeft plaats gevonden. Deze expansie heeft haar einde nog lang niet gevonden, integendeel, allerwegen wordt verwacht en noodzakelijk geoordeeld dat deze expansie nog steeds verder voort zal schrijden teneinde een eveneens voortdurend zich uitbreidende wereldbevolking van haar dagelijkse levensbehoeften te kunnen voorzien en om aan de menselijke drang tot steeds verdere beheersing van de natuur en het wereldgebeuren tegemoet te komen.

Het is deze verwachte en noodzakelijke expansie die de aanleiding is geweest hier in Eindhoven de tweede T.H. van Nederland te stichten met als minder sprekend gevolg dat vandaag voor de 30ste maal sinds september 1957 een hoogleraar vóór U staat om te trachten in een zinnvolle oratie zijn zienswijze op het door hem te doceren vak en op de plaats die dit vak in het geheel van techniek en wetenschap inneemt, uiteen te zetten.

In dit verband zou ik vandaag Uw aandacht willen vestigen op een bepaalde groep van industrieën die in de bevordering van onze welvaart wel een bijzondere plaats inneemt, niet door de grote werkgelegenheid die zij met zich meebrengt maar omdat deze groep van industrieën als het ware optreedt als leverancier van nieuwe grondstoffen en daardoor een land dat van nature arm is aan bodemprodukten tot een rijker land kan maken.

Ingewijden onder U zullen begrijpen dat ik op de zogenaamde proces-

industrie doel. Hieronder versta ik die industrie waarin ruwe grondstoffen in geheel of nagenoeg geheel gesloten apparatuur verwerkt, omgezet of ontleed worden tot andere stoffen en produkten, die hetzij direct geconsumeerd worden, hetzij weer grondstoffen zijn voor andere industrieën die ze tot gebruiks- of consumptie-artikelen bewerken.

Tot deze procesindustrie kunnen we rekenen bijna de gehele chemische industrie, de petroleumindustrie, een groot deel van de voedings- en genotmiddelen-industrie, de metallurgische industrie en nog enkele kleinere industrieën. Ook een groot deel van de kernenergie-industrie zal hiertoe gerekend moeten worden en wel dat deel dat zich bezig houdt met de voorbereiding van de kernbrandstof en met de verwerking van de afvalstoffen.

Voor al na de eeuwwisseling is deze procesindustrie tot ontwikkeling gekomen en er is toen een speciale technische wetenschap ontstaan die zich bezig houdt met het ontwerpen en het bedrijven van, alsmede met de research voor deze industrie. Deze wetenschap is het eerst als zodanig geformuleerd door de Engelsman GEORGE DAVIS in 1901, echter in Amerika verder ontwikkeld. Aan haar toepassing oorspronkelijk alleen in de chemische en aanverwante industrie dankt deze wetenschap haar Angelsaksische naam: „Chemical Engineering”. Een goede vertaling van dit woord te geven is zeer moeilijk. In ons land, waar dit vak eigenlijk pas sedert de laatste wereldoorlog onderwezen wordt, is het veelal gebruikelijk de benaming „Chemische Techniek” te gebruiken. De Engelse naam is echter historisch gegroeid, hetgeen niet het geval is met de Nederlandse vertaling. Mijns inziens is er daarom geen aanleiding om ook in de vertaling deze sterke nadruk op de toepassing in de chemische industrie te laten uitkomen en is het beter een naam te kiezen die duidelijker het toepassingsgebied aangeeft. Ik zou daarom willen voorstellen de betreffende technische wetenschap „Proceskunde” en de beoefenaar van deze wetenschap „Proceskundig Ingenieur” te noemen.

Wat is nu de taak en het wezen van de proceskunde? Zoals reeds gereleveerd houdt de proceskunde zich bezig met de ontwikkeling en het ontwerpen van processen. Dit kunnen zijn zowel chemische processen, waarbij uit verschillende grondstoffen door chemische reactie produkten van andere chemische samenstelling gefabriceerd worden, als processen waarbij uitsluitend door fysische of mechanische bewerkingen eindprodukten uit grondstoffen gewonnen worden. Voorbeelden hiervan zijn: de opwerking van ruwe aardolie tot de afzonderlijke samenstellende delen; de winning van zetmeel uit aardappelen; de afscheiding van

kostbare mineralen uit het ruwe erts; de afscheiding van het waardevolle isotoop  $U_{235}$  uit uranium.

Deze fysische en mechanische methoden vat men veelal samen onder de naam: „Unit Operations”, waarvoor het ook al weer moeilijk is een goede Nederlandse vertaling te geven; „Fundamentele Bewerkingen” voldoet misschien nog het beste. Tot deze fundamentele bewerkingen rekent men o.a.: destillatie, extractie, kristallisatie, roeren en mengen, malen, filtratie, centrifugatie, flotatie en nog vele andere. De stromings-toestand en de impuls-, stof- en warmteoverdracht in en tussen de deelnemende fasen zijn de fysische verschijnselen die hierbij een grote rol spelen.

Ook in het echt chemische proces komen deze fundamentele bewerkingen veelvuldig voor, soms zelfs in die mate dat de chemische reactor, die in feite toch het hart van de gehele installatie vormt, daarin nauwelijks terug te vinden is.

Voor het ontwerpen van de gehele installatie moeten al deze bewerkingen nauwkeurig bestudeerd en vervolgens tot een zinvol geheel geïntegreerd worden. Dit moet bovendien zodanig uitgevoerd worden dat het gehele proces zo economisch mogelijk gerealiseerd en het uiteindelijke produkt zo goedkoop mogelijk gefabriceerd kan worden zonder de kwaliteit van dit produkt ongunstig te beïnvloeden.

Een goed proceskundig ingenieur zal derhalve een gedegen kennis moeten hebben van deze fundamentele bewerkingen, de fysische en mathematische grondslagen geheel moeten beheersen, een goed gevoel moeten hebben voor verantwoorde mechanische constructies en ten slotte kostenberekeningen moeten kunnen uitvoeren en economisch inzicht hebben. Indien hij zijn werkkring vindt in de chemische industrie zal hij bovendien kennis moeten hebben van de chemie. Vindt hij zijn bestemming in een andere tak van de procesindustrie dan zal kennis van de aan deze industrie ten grondslag liggende basiswetenschap voor hem noodzakelijk blijken. Deze basiswetenschap zou behalve chemie ook b.v. biologie, mineralogie of kernfysica kunnen zijn.

De procesindustrie is door haar aard, waarbij de grond- en hulpstoffen en ook de tussen- en eindprodukten bijna voortdurend in stromende of zwevende toestand gehouden worden, aangewezen op continue uitvoering, waarbij het proces dagen, weken en in vele gevallen maanden lang zonder onderbreking doorloopt. Alleen de grondstoffen worden ergens aan de apparatuur toegevoerd evenals de energie, meestal in de vorm van warmte of elektriciteit, terwijl elders de produkten en afvalstoffen aan de installatie worden onttrokken. Directe zintuigelijke waar-

neming van het proces is hierbij praktisch overbodig. Al deze omstandigheden met elkaar maken dat de procesindustrie als het ware voorbereemd is voor automatisering, die dan ook geen wezenlijke verandering in het proces of de procesapparatuur te weeg brengt en alleen enige aanvulling van regel- en controle-apparatuur noodzakelijk maakt.

Hierdoor wordt verklaard dat de procesindustrie de sterkst geautomatiseerde en de minst arbeidsintensieve van alle industrieën is en voorts dat het in deze industrie anders gesteld is dan in de meeste andere met de invloed van de rentevoet op de verhouding kapitaal/arbeid. De benodigde investering wordt namelijk voor ten minste 95% bepaald door de kosten van de grote apparaten als destillatiekolommen, reactoren, mengketels, scheidingsapparatuur, de noodzakelijke pompen en ventilatoren, de pijpleidingen en de bouwkundige elementen. Het lijkt niet goed mogelijk door meer arbeid te investeren dezelfde bewerkingen in goedkopere apparatuur uit te voeren en daardoor op kapitaal te besparen. In gevallen waar men wel de mogelijkheid heeft te kiezen zoals b.v. in het geval van filters en centrifuges, die zowel in ladingswijze als in continue uitvoering bestaan, wordt de uiteindelijke keuze meestal niet bepaald door de verhouding kapitaal/arbeid maar door de verlangde kwaliteit van het eindproduct.

Waar blijkt dat in Amerika in de procesindustrie de omzet per werknemer aanzienlijk hoger ligt dan in West-Europa moet mijns inziens dan ook gesteld worden dat dit niet veroorzaakt wordt door de in West-Europa goedkopere arbeid maar door een duidelijke technische achterstand, waardoor hier diverse processen of onderdelen van processen nog niet op de continue werkwijze uitgevoerd kunnen worden terwijl dat elders wel mogelijk is. Ook de hier te lande nog te kleine productie-eenheden dragen duidelijk bij tot deze lage efficiency van de menselijke arbeid.

*Zeer geachte Toehoorders,*

Ik ben mijn beschouwing begonnen met U te herinneren aan de voortdurende expansie van de industrie en van de procesindustrie in het bijzonder. Dit was niet alleen bedoeld om de aandacht van de pers te trekken. Het zal U wel duidelijk zijn dat, indien een bepaalde industrie wil expanderen, dit niet zo maar gaat maar dat eerst een aantal problemen opgelost moeten worden. Deze problemen liggen in iedere industrie weer anders en de procesindustrie neemt in dit opzicht wel een bijzondere plaats in. Het zijn deze expansieproblemen — of zo U wilt

vergrotingsproblemen —, die ik tot het onderwerp van mijn rede gekozen heb.

Hierbij zal ik me niet wagen aan beschouwingen over het commerciële beleid waar een beslissing tot uitbreiding deel van uitmaakt, aangezien elke industriële onderneming op dit punt een geheel eigen en in vele gevallen „duistere” politiek voert. Of de uitbreiding gemotiveerd en ook gewenst is wil ik derhalve in het midden laten en alleen aannemen dat de directie van de betrokken onderneming op dit punt een duidelijk en positief standpunt heeft.

Allereerst is het noodzakelijk vast te stellen wat wij onder expansie zullen verstaan. Bij expansie denkt men vooral aan vestiging van nieuwe industrieën. Dit kan op tweeërlei wijzen geschieden, namelijk ten eerste door het op dezelfde wijze nabouwen van een reeds bestaande fabrieksinstallatie echter op een andere plaats en ten tweede door het bouwen van een geheel nieuwe installatie waarin een geheel of gedeeltelijk nieuw proces wordt toegepast. In dit laatste geval zal soms een nieuw, nog niet eerder gefabriceerd, produkt worden vervaardigd en op de markt gebracht. In andere gevallen wordt weliswaar een reeds bestaand produkt gemaakt maar kan het mogelijk blijken door toepassing van een moderner procédé dit produkt nu goedkoper of met een betere kwaliteit te fabriceren.

Onder expansie moeten we tenslotte ook rekenen uitbreidingen van reeds bestaande installaties, waarbij dus alleen de produktie wordt vergroot.

Om expansie mogelijk te maken moet nog aan een aantal voorwaarden voldaan zijn. Zo moet een marktanalyse aantonen dat men het te fabriceren produkt met een redelijke winst op de markt kwijt kan. Het kapitaal benodigd voor de met de uitbreiding gemoeide investering moet beschikbaar zijn evenals een geschikt terrein dat gunstig gelegen is voor aan- en afvoer van grondstoffen en produkten. Ook het personeel dat de nieuwe of uitgebreide installaties moet bedienen moet aangetrokken kunnen worden en tenslotte zullen de technische problemen verbonden aan de expansie opgelost moeten worden.

Het ligt in het zezen van mijn opdracht aan deze T.H. besloten dat ik bij mijn verdere beschouwingen aan de technische vergrotingsproblemen de meeste aandacht zal besteden. Het zijn deze technische vergrotingsproblemen die wel een zeer essentiële misschien wel de meest essentiële factor van de proceskunde uitmaken. Het lijkt niet onwaarschijnlijk dat zonder deze speciale vergrotingsproblematiek de proceskunde zich nooit tot een afzonderlijke wetenschap ontwikkeld zou hebben.

Waardoor wordt dit bijzondere karakter van de vergrotingsproblemen in de procesindustrie veroorzaakt?

Om dit te begrijpen moeten we ons realiseren dat vergroten in de procesindustrie op geheel andere wijze geschiedt dan in de overige industrieën, waar in het algemeen de produktie vergroot wordt door een groter aantal van dezelfde produktie-eenheden naast elkaar te zetten, hetgeen geen bijzondere moeilijkheden oplevert. In de procesindustrie echter wordt de produktie vergroot door elk apparaat dat deel uitmaakt van de gehele installatie grotere afmetingen te geven.

Men zou het wel op de andere manier — dus door parallel schakelen van gelijke apparaten van gelijke afmetingen — kunnen doen; dit blijkt echter niet economisch te zijn. Ik kan dit illustreren aan de hand van een willekeurig apparaat, b.v. een gesloten reactorketel waarin geroerd wordt. Het blijkt nu dat een grote reactorketel met hetzelfde volume als tien kleine reactorketels veel minder constructiemateriaal en ook veel minder bewerking vereist dan deze tien kleine reactorketels samen, waardoor deze grote ketel slechts veertig procent kost van wat de tien kleine ketels samen kosten.

Hier komt nog bij dat het gehele schema van leidingen die de diverse apparaten met elkaar verbinden wel erg ingewikkeld wordt bij parallel-schakeling van kleinere eenheden, met alle narigheid van verminderde bedrijfszekerheid, terwijl ook het noodzakelijke bedieningspersoneel bijna evenredig met het aantal parallel geschakelde eenheden toeneemt. Bij de in de procesindustrie toegepaste methode kan bijna hetzelfde personeel dat een kleine installatie bedient ook een sterk vergrote installatie bedienen. Er blijkt dus bij deze methode een enorme winst aan:

- a) kapitaalsinvestering
- b) arbeidslonen
- c) overzichtelijkheid en bedrijfszekerheid.

Deze winst resulteert uiteraard in een goedkoper produkt en een sterkere marktpositie alhoewel hierbij wel bedacht moet worden dat de kostprijs van het produkt voor een belangrijk deel ook bepaald wordt door de vaste kosten, zoals de kosten van de grondstoffen en de hulpstoffen en de kosten van de energie die voor de bewerking nodig is. De bijdrage van deze vaste kosten in de prijs van het produkt is onafhankelijk van de grootte van de installatie.

Toch dringt de vraag zich op hoe het dan mogelijk is dat kleinere bedrijven nog rendabel zijn en nog kunnen concurreren.

Het antwoord hierop is tweeledig. In de eerste plaats is het nodig te bedenken dat de maximaal rendabele grootte van de produktie en



daarmee van de installatie bepaald wordt door de afzetmarkt die men voor het produkt weet. Hierbij moet opgemerkt worden dat voor elke installatie ook op technische gronden nog een optimale grootte bestaat, die vooral bepaald wordt door het verlies aan flexibiliteit bij verdere vergroting. Door haar grote massa duurt het veel langer voor een grote installatie in bedrijf of op andere condities gebracht is, zoals wel eens nodig is indien het produkt met verschillende specificaties op de markt gebracht wordt. Gedurende deze aanloop- of overgangperiode wordt een produkt van inferieure en inhomogene kwaliteit gemaakt dat meestal onverkoopbaar is en dus een grote verliespost betekent.

In de tweede plaats moet ik wijzen op het enorme belang om voor een bepaald nieuw produkt de eerste te zijn die dit op de markt brengt. Men legt dan als het ware beslag op de markt en kan althans aanvankelijk de marktprijs bepalen vanuit een monopoliepositie.

Nu is een kleine installatie uiteraard sneller ontworpen en gebouwd dan een grote installatie; hier kan wel eens een tijdwinst van een jaar mee gemoeid zijn. Tegen de tijd dat de concurrenten ook op de markt komen met hetzelfde produkt heeft men de eigen kleine installatie reeds voor een groot deel afgeschreven en kan dan dus ook bij een lagere prijs nog concurreren.

Overigens is het toch onvermijdelijk dat in een tengevolge van het wegvallen van douanegrenzen voortdurend zich uitbreidende markt de kleinere bedrijven steeds meer moeite zullen hebben om zich te handhaven en uiteindelijk gedoemd zijn te verdwijnen of op te gaan in grotere bedrijven.

Keren we dan nu terug tot de technische vergrotingsproblemen. De oudste en nog steeds veel toegepaste methode om deze problemen te benaderen is wat ik zou willen noemen de speculatief-empirische methode, waarbij men voorzichtig stap voor stap extrapolerend (dwz. vergrotend) zijn weg zoekt. Men moet hierbij bedenken dat vele processen en met name de chemische processen eerst in het laboratorium op kleine schaal en meestal in glazen apparatuur worden bestudeerd waarbij het uiteraard van geen belang is of men dit op economisch-verantwoorde wijze doet. Zo is b.v. de zuivering van het uiteindelijke produkt door de sterk vervolmaakte moderne analytische scheidingsapparatuur geen probleem.

Voor toepassing op commerciële schaal moet men echter naar andere apparatuur en methodes omzien. In de regel heeft men zich wel enig idee gevormd over de dan toe te passen methodes en apparaten, doch beschikt men niet over de kennis om de juiste grootte en vorm van deze

apparatuur van te voren vast te stellen en vreest men complicaties door nog onbekende factoren.

Men gaat dan over tot het bouwen van een zogenaamde proeffabriek, waarbij men op een schaal die tien, honderd of nog meer malen kleiner is dan de uiteindelijke commerciële installatie, het proces gaat bestuderen, echter zodanig dat men wel reeds alle kenmerken en principes van de commerciële installatie toepast. Van deze proeffabriek hoopt men dan te leren hoe men het proces moet uitvoeren. In vele gevallen leert men echter hoe men het niet moet doen. Men vindt dit echter niet erg, integendeel, iedereen kijkt zeer verheugd en men vleit elkaar met de opmerking dat de proeffabriek nu pas echt zijn nut heeft bewezen, immers indien men de gemaakte fouten direct in de grote commerciële installatie maakt zou hebben zou de financiële strop nog veel groter geweest zijn.

Indien men nu na de noodzakelijk gebleken veranderingen aangebracht te hebben tenslotte uitgezocht heeft hoe men op deze proeffabrieksschaal het proces moet uitvoeren, durft men in vele gevallen wel reeds de commerciële installatie ontwerpen en bouwen. Voelt men zich echter nog wat onzeker, dan gaat men eerst een nog grotere proeffabriek bouwen of worden bepaalde procesonderdelen apart op grotere schaal onderzocht.

Steeds moet men bij deze methode extrapoleren naar grotere apparatuur, waarbij natuurlijk weer nieuwe fouten gemaakt kunnen worden, al worden de waarschijnlijkheid van optreden en de gevolgen van deze fouten wel steeds kleiner.

Ieder zal het met mij eens zijn dat dit een weinig wetenschappelijke methode is. In de oertijd van de proceskunde was dit echter de enige methode die in redelijke tijd en zonder al te veel risico tot een bevredigend resultaat leidde. Men moet hierbij bovendien bedenken dat in vele gevallen de proeffabriek nog een andere functie kan vervullen, namelijk het ter beschikking geven van een behoorlijke hoeveelheid van het eindprodukt, hetgeen nuttig kan zijn om de toepassingsmogelijkheden van het nieuwe produkt te onderzoeken of om een marktanalyse uit te voeren, waarbij men dus aan diverse potentiële afnemers het produkt ter beschikking stelt om hun reactie op kwaliteit en toepasbaarheid van dit produkt te vernemen.

Het zal U echter duidelijk zijn dat ook in de proceskunde de wetenschap steeds verder voortschrijdt en dat dit zijn reflectie vindt in de mogelijkheid de procesapparatuur steeds beter te berekenen. Hierbij heeft men met hulp van de empirisch-deductieve methode geleerd welke algemene natuurkundige wetten aan het gebeuren in deze apparatuur

apparatuur van te voren vast te stellen en vrees men complicaties door nog onbekende factoren.

Men gaat dan over tot het bouwen van een zogenaamde proeffabriek, waarbij men op een schaal die tien, honderd of nog meer malen kleiner is dan de uiteindelijke commerciële installatie, het proces gaat bestuderen, echter zodanig dat men wel reeds alle kenmerken en principes van de commerciële installatie toepast. Van deze proeffabriek hoopt men dan te leren hoe men het proces moet uitvoeren. In vele gevallen leert men echter hoe men het niet moet doen. Men vindt dit echter niet erg, integendeel, iedereen kijkt zeer verheugd en men vleit elkaar met de opmerking dat de proeffabriek nu pas echt zijn nut heeft bewezen, immers indien men de gemaakte fouten direct in de grote commerciële installatie gemaakt zou hebben zou de financiële strop nog veel groter geweest zijn.

Indien men nu na de noodzakelijk gebleken veranderingen aangebracht te hebben tenslotte uitgezocht heeft hoe men op deze proeffabrieksschaal het proces moet uitvoeren, durft men in vele gevallen wel reeds de commerciële installatie ontwerpen en bouwen. Voelt men zich echter nog wat onzeker, dan gaat men eerst een nog grotere proeffabriek bouwen of worden bepaalde procesonderdelen apart op grotere schaal onderzocht.

Steeds moet men bij deze methode extrapoleren naar grotere apparatuur, waarbij natuurlijk weer nieuwe fouten gemaakt kunnen worden, al worden de waarschijnlijkheid van optreden en de gevolgen van deze fouten wel steeds kleiner.

Ieder zal het met mij eens zijn dat dit een weinig wetenschappelijke methode is. In de oertijd van de proceskunde was dit echter de enige methode die in redelijke tijd en zonder al te veel risico tot een bevredigend resultaat leidde. Men moet hierbij bovendien bedenken dat in vele gevallen de proeffabriek nog een andere functie kan vervullen, namelijk het ter beschikking geven van een behoorlijke hoeveelheid van het eindprodukt, hetgeen nuttig kan zijn om de toepassingsmogelijkheden van het nieuwe produkt te onderzoeken of om een marktanalyse uit te voeren, waarbij men dus aan diverse potentiële afnemers het produkt ter beschikking stelt om hun reactie op kwaliteit en toepasbaarheid van dit produkt te vernemen.

Het zal U echter duidelijk zijn dat ook in de proceskunde de wetenschap steeds verder voortschrijdt en dat dit zijn reflectie vindt in de mogelijkheid de procesapparatuur steeds beter te berekenen. Hierbij heeft men met hulp van de empirisch-deductieve methode geleerd welke algemene natuurkundige wetten aan het gebeuren in deze apparatuur

ten grondslag liggen, men heeft vaak een theorie of een hypothese op kunnen stellen, die de werking van deze apparatuur beschrijft en met behulp waarvan men bij vergroting de juiste maten en werkcondities kan berekenen.

Om U te illustreren hoe men hierbij te werk gaat en welke moeilijkheden men bij de vergroting ontmoet wil ik een voorbeeld met U behandelen, waarvoor ik gekozen heb een der reeds eerder door mij genoemde fundamentele bewerkingen en wel de kristallisatie.

Kristallisatie is een proces waarbij uit een verzadigde oplossing van het gewenste produkt een korrelige kristallijne massa neerslaat. Deze bewerking wordt veelvuldig toegepast om daarvoor geschikte eindprodukten in een verhandelbare vorm te brengen terwijl in een enkel geval de korrelige structuur een essentiële voorwaarde voor de toepassing is. De brij die ontstaat moet na de kristallisatie natuurlijk nog van de moederloog afgescheiden en vervolgens gedroogd worden.

Met enkele door kristallisatie verkregen produkten worden wij dagelijks in onze huishouding geconfronteerd, namelijk met de kristalsuiker en het keukenzout. Andere toepassingen van kristallisatie komt men vooral tegen in de anorganisch-chemische industrie waar de meeste anorganische zouten in kristallijne vorm in de handel gebracht worden.

De apparatuur waarin de kristallisatie uitgevoerd wordt bestaat meestal uit een verdampingsinstallatie om de oplossing eerst te concentreren door het oplosmiddel hieruit te verdampen. De geconcentreerde oplossing wordt vervolgens naar de eigenlijke kristallisator gepompt waarin zij afgekoeld wordt en daardoor oververzadigd raakt, althans in die gevallen waar de oplosbaarheid van het produkt daalt met de temperatuur. Indien dit niet het geval is zal men deze oververzadiging door een verdere indamping moeten bereiken.

Uit deze nog onvolledige beschrijving zal het U reeds duidelijk zijn dat warmteoverdracht een essentiële factor is bij kristallisatie: in de verdampingskristallisator moet warmte toegevoerd worden om de verzadigde oplossing aan de kook te brengen, terwijl in de koelende kristallisator warmte afgevoerd moet worden. De warmteoverdracht zelf is tegenwoordig geen probleem meer; deze geschiedt met behulp van inwendige of uitwendige warmtewisselaars waarbij de warmte dus door een vaste wand gevoerd wordt. Bij geometrisch vergroten van de kristallisator zal nu echter de verhouding van het wandoppervlak tot het volume van het apparaat afnemen, terwijl de hoeveelheid warmte die toe- of afgevoerd moet worden evenredig met het volume is toegenomen. Dit betekent dus dat de warmtestroomdichtheid door het beschikbare opper-

vlak groter moet worden. Bij kristallisatie geeft dit echter grote bezwaren, zoals we later zullen zien. In het geval van een uitwendige warmtewisselaar waar de kristalbrij doorheen gepompt wordt, is het natuurlijk gemakkelijk deze in verhouding groter te kiezen en dit is dan ook de oplossing die meestal gekozen wordt. In het geval van een inwendige warmtewisselaar die eigenlijk voor een goede kristallisatie te prefereren is, zal men de oplossing zoeken door de afzonderlijke warmte-overdragende elementen — meestal ronde pijpen — alleen in de lengterichting te vergroten en voorts het aantal van deze elementen sterk te laten toenemen. Hiermee introduceert men echter wel weer een nieuwe moeilijkheid namelijk dat men nu ook zorg moet dragen voor een goede verdeling over deze pijpen van de voortdurend in circulatie zijnde kristalbrij. Indien men hier geen rekening mee houdt zal blijken dat men de kristallisatie in het geheel niet meer in de hand houden kan, dat verstoppingen optreden en een zeer onregelmatig produkt ontstaat.

Er bestaat nog een derde methode om de gewenste oververzadiging te bereiken, welke methode gerealiseerd is in de zogenaamde vacuüm-kristallisator. Hier wordt van buitenaf geen warmte toe- of afgevoerd maar laat men onder adiabatische condities de oplossing zelf arbeid verrichten door de damp die ontstaat voortdurend weg te pompen. Hierbij heeft dus zowel indamping als afkoeling plaats en treedt dus ook oververzadiging op. Bij vergroting ontstaan hier geen moeilijkheden zolang de dampspanning van de verzadigde oplossing hoger is dan de hydrostatische druk onder in de kristallisator. Bij verdere vergroting zal echter deze hydrostatische druk ééns groter worden waardoor het onderste deel van de vloeistofvulling niet meer bijdraagt tot de verdamping: de verdamping zal nu nog slechts evenredig met het vrije oppervlak van de oplossing toenemen. In dit laatste geval zal men trachten door een sterke inwendige circulatie van de oplossing te bewerken dat toch de gehele inhoud van de kristallisator aan de verdamping deelneemt.

Tot dusver hebben we slechts het bereiken van de gewenste oververzadiging behandeld. Dit is echter nog niet voldoende om kristallisatie te krijgen. Het verschijnsel van kristallisatie zelf valt uiteen in twee onderdelen te weten het ontstaan van zogenaamde kristallisatiekiemen en vervolgens het verder aangroeien van deze kiemen tot steeds grotere kristallen. Het ontstaan van de kristallisatiekiemen is een verschijnsel waarover nog maar weinig bekend is. Zo weet men dat in een bijna geheel in rust verkerende zuivere oplossing de oververzadiging tot een zekere grens kan voortschrijden zonder dat deze kiemen ontstaan, dat

zij echter reeds veel eerder ontstaan als deze oplossing op mechanische wijze in beroering wordt gebracht en dat geringe verontreinigingen zowel een gunstige als een ongunstige invloed kunnen uitoefenen. Over de oorspronkelijke grootte van de kristallisatiekiemen is bijna niets bekend; metingen hieraan zijn bijzonder moeilijk daar de kiemen in onderdelen van seconden tot grotere kristallen aangroeien. Wel is men tot het inzicht gekomen dat de kristallisatiekiemen tenminste een minimumafmeting moeten hebben welke afhankelijk is van de oververzadigingsgraad, daar kristalletjes met kleinere afmetingen onmiddellijk weer zouden oplossen en dus niet kunnen bestaan. Het is zeer gewenst dat men over de vorming van deze kiemen meer te weten komt en hun vorming beter leert beheersen. In het algemeen stelt men namelijk bij kristallisatie de eis dat de kristallen een bepaalde grootte hebben. Indien deze grootte vast ligt evenals het totale gewicht van de kristallen dat per uur afgevoerd moet worden, ligt dus ook het aantal kristallen dat per uur gevormd moet worden vast. Aangezien elke kristallisatiekiem tot een volledig kristal uitgroeit zal het duidelijk zijn dat beheersing van de vorming van deze kiemen een essentiële voorwaarde is voor de beheersing van het gehele kristallisatieproces. Hierbij is het probleem vaker een teveel dan een tekort aan deze kiemen.

Keren we dan nu terug tot de vergroting. We hebben gezien dat in vele gevallen de inwendige circulatie sterk bevorderd dient te worden om de gewenste warmteoverdracht en verdamping ook op grotere schaal te kunnen bereiken. Echter indien dit niet noodzakelijk was zouden om andere reden toch reeds grotere stroomsnelheden op moeten treden in de vergrote kristallinator. Doordat de lineaire afstanden namelijk alle groter geworden zijn en we moeten eisen dat de menging van de kristallinatorinhoud met de verse voeding en ook met die zones waar de oververzadiging ontstaat toch even snel gebeurt als in het kleine apparaat, moeten grotere afstanden in dezelfde tijd overbrugd worden, m.a.w. de optredende stroomsnelheden moeten groter worden.

Nu heeft men bij stroming over het algemeen te maken met wrijvingsverliezen en met kinetische energieverliezen. De kinetische energieverliezen nemen kwadratisch toe met de stroomsnelheid terwijl de wrijvingsverliezen lineair met deze snelheid toenemen; de verhouding van beide soorten verliezen neemt dus met de snelheid toe. Indien men een bepaalde waarde van deze verhouding overschrijdt kan dit op de geaardheid van de stroming sterke invloed uitoefenen: men zegt dat de stroming dan turbulent wordt en dit woord drukt reeds uit dat de beroering dan veel groter wordt.

Zoals reeds bij de vorming van de kristallisatiekiemen besproken, wordt deze vorming sterk bevorderd door agitatie van de oververzadigde oplossing en kan men dus een teveel van deze kiemen krijgen en daardoor in conflict komen met de eisen te stellen aan de uiteindelijke kristal-grootte. Men moet dan ingewikkelde maatregelen nemen om het teveel aan kiemen dat ontstaat voortdurend te verwijderen om zodoende toch aan de specificaties te kunnen voldoen. Er is echter nog een andere methode om dit doel te bereiken.

Zoals reeds gereleveerd bestaat bij elke oververzadigingsgraad een minimale kiemgrootte die nog kan bestaan bij deze oververzadiging. Deze minimale kiemgrootte is des te groter naarmate de oververzadiging kleiner is. Dit heeft tot gevolg dat de kans op spontane vorming van deze kiemen kleiner wordt.

Het lijkt dus mogelijk de extra vorming van de kiemen tengevolge van de grotere beroering weer te compenseren door een lagere oververzadigingsgraad toe te passen, hetgeen men kan bereiken door voor een goede distributie van de reeds aanwezige kristallen zorg te dragen. Ook heeft men de oververzadigingsgraad in de hand door een grotere concentratie van de kristallen toe te staan.

Hiermee komen we op het gebied van de kristalgroei en daarmee van de stofoverdracht. Deze groei geschiedt doordat stof of materie uit de oplossing overgedragen of getransporteerd wordt naar het oppervlak van het kristal en vervolgens daarop neerslaat. De snelheid van deze overdracht wordt bepaald door het teveel dat in de oplossing aanwezig is, m.a.w. door de oververzadigingsgraad en voorts door het totale oppervlak dat voor dit neerslaan beschikbaar is. Indien men nu in een bepaald geval, waarin de totale hoeveelheid stof die per uur kan neerslaan constant is, de concentratie van de kristallen groter kiest zal dit dus tot gevolg hebben dat de oververzadigingsgraad afneemt.

Het zal U duidelijk zijn dat voor een juiste afweging van al deze factoren volledige kennis van het mechanisme der kiemvorming een eerste vereiste is. Indien men door fundamenteel spuurwerk op dit gebied de ontbrekende kennis heeft aangevuld, kan men trachten een theorie op te stellen waarin de kristallisatiesnelheid en de produktiesnelheid van de kiemen beschreven worden als functie van de optredende stroom-snelheden en de oververzadigingsgraad. Indien men bovendien weet hoe de stofoverdracht van deze factoren afhangt, zal het mogelijk zijn de afmetingen en de werkcondities van de kristallisator voor elke grootte te berekenen.

Samenvattend kunnen we zeggen dat bij vergroting van procesapparatuur een aantal moeilijkheden kunnen optreden, die in drie groepen ingedeeld kunnen worden:

Ten eerste zijn daar de moeilijkheden die hun oorzaak hebben in het afnemen van de verhouding van wandoppervlak tot volume. Dit speelt een rol bij warmteoverdracht, maar ook daar waar in het geval van stroming de wandwrijving een belangrijke invloed op het stromingspatroon uitoefent.

De tweede groep van moeilijkheden hangt samen met het toenemen van het aantal afzonderlijke bouw- of contactelementen dat in de apparatuur begrepen is. Dit kan soms noodzakelijk zijn, namelijk indien het vergroten van deze elementen niet mogelijk of niet gewenst is, zodat het verlies aan oppervlak dat deze elementen ten opzichte van de vergrote apparatuur bieden weer goed gemaakt moet worden door hun aantal te laten toenemen.

De laatste groep van moeilijkheden tenslotte houdt verband met het groter worden van de lineaire afstanden die voor een goede menging of een goed transport overbrugd moeten worden. Dit heeft dus ten gevolge dat de stroomsnelheden groter moeten worden en soms ook dat de transport- en overdrachtsweerstand toenemen.

Indien nu de moeilijkheden tot deze drie groepen beperkt bleven zou men wel spoedig een algemeen recept opgesteld kunnen hebben waarmee het mogelijk zou zijn deze moeilijkheden op te lossen. In het algemeen wordt deze oplossing echter aanmerkelijk gecompliceerder doordat naast de algemene verschijnselen van warmte- en stofoverdracht en van de stroming bijna altijd nog een verschijnsel optreedt dat karakteristiek is voor de fundamentele bewerking die men beschouwt zoals in het geval van de kristallisatie dus de kiemvorming. Kennis van het wezen van zo'n karakteristiek verschijnsel is van het grootste belang voor een volledige beheersing van de fundamentele bewerking. Veelal liggen deze additionele moeilijkheden op het gebied van de grensvlakverschijnselen, zoals adsorptie en adhesie, dispergering en coalescentie, elektrostatische oplading enz. Ook de kiemvorming, waarbij spontaan nieuw oppervlak gecreëerd wordt, kan men hieronder indelen. Het geheim van deze grensvlakverschijnselen op te lossen zal de eerste taak van de proceskundig ingenieur moeten zijn die zich bezig houdt met de fundamentele research in de proceskunde. Indien hij deze verschijnselen ziet in het juiste verband van stof- en warmteoverdracht en stromingsverschijnselen zal een zeer interessante wereld voor hem open gaan en hij zal een belangrijke bijdrage kunnen leveren tot de verdere ontwikkeling van de moderne procesapparatuur.



*Zeer geachte Toehoorders,*

In het voorgaande heb ik getracht U een beeld te geven van wat proceskunde is en wat haar plaats is in de rij der moderne ingenieurswetenschappen. Het is mijn overtuiging dat ons land nog een grote behoefte heeft aan proceskundige ingenieurs en dat bij de verdere expansie van de procesindustrie die voor ons land noodzakelijk lijkt, hen nog een mooie en dankbare taak wacht.

Bij de verdere behandeling van mijn onderwerp heb ik speciaal aandacht geschonken aan de vergrotingstechniek, die van de proceskunde een zo essentieel onderdeel uitmaakt. Daarbij heb ik eerst enige aandacht besteed aan het economische aspect, aangezien zonder dit aspect de zin en de betekenis van de vergrotingstechniek niet begrepen kan worden. Tenslotte heb ik gepoogd aan de hand van een enkel voorbeeld enige ordening in de vergrotingsproblemen te scheppen, waarbij U ongetwijfeld het sterk fysische en fysisch-chemische karakter van deze problemen opgevallen zal zijn.

Misschien begint U reeds ongeduldig te worden, maar ik moet nog met U de vraag behandelen: wat is fysische technologie? het vakgebied dat in mijn leeropdracht genoemd wordt.

Hierover kan ik nu kort zijn. Een definitie van de fysische technologie te geven zal ik U en ook mijzelf besparen. Bij naspeuring in de beschikbare literatuur ben ik geen enkele definitie tegengekomen die tevens het economisch aspect noemt. Aangezien daarmee dit vakgebied als ingenieurswetenschap veroordeeld is, zal ik zo vrij zijn deze definities naast mij neer te leggen. Ik wil mijn leeropdracht opvatten als het centrale punt van het onderwijs in de proceskunde waarbij uiteraard het economisch aspect niet vergeten wordt.

Aan het eind van mijn oratie gekomen moge ik in de eerste plaats mijn eerbiedige dank betuigen aan *Hare Majesteit de Koningin* dat Zij mij heeft willen benoemen tot gewoon hoogleraar aan deze Technische Hogeschool.

*Mijne Heren Curatoren,*

Door mij te willen voordragen voor deze benoeming hebt U een groot vertrouwen in mij gesteld. Onlangs mocht ik met enkelen van Uw college mijn ontwikkelingsplan voor de sectie fysische technologie bespreken. Door Uw goedkeuring aan dit plan te verbinden hebt U nog

maals dit vertrouwen bevestigd. Voor dit dubbele vertrouwen ben ik U veel dank verschuldigd. Ik kan U verzekeren dat ik mij bewust ben van de grote verantwoordelijkheid die U daarmee op mijn schouders gelegd heb en dat ik mijn uiterste best zal doen dit vertrouwen niet te beschamen.

*Mijne Heren leden van de Senaat en Adviseurs,*

Telken male dat ik een openbare senaatsvergadering bijwoon schiet mij in de herinnering een lied dat onder de studenten van mijn Alma Mater in Groningen zeer populair was, namelijk het lied van de pedel KAMPINGA. Ik citeer hieruit:

En daar komen dan heel netjes aangedaan  
Alle hoge proffen zoetjes achteraan  
Dat je zoveel wijsheid bij elkander ziet  
Dat geloof je bijna niet, nee bijna niet.

Nu ik mijzelf in Uw midden bevind is elke rest van ongelooft snel bij mij weggenomen. Ik hoop dat ik mij aan Uw hoge standaard zal kunnen aanpassen.

*Mijne Heren leden van de Afdeling der Scheikundige Technologie,*

Als jongste lid in Uw gezelschap kan ik U zeggen dat ik nog veel van U hoop te leren. De vriendschap waarmee U mij in Uw midden opgenomen hebt en de uitstekende geest van samenwerking onder U zijn mij dagelijks tot steun.

Waarde VAN LOON, toen U vandaag precies een jaar geleden mij uitnodigde de nog vacante post in de afdeling der scheikundige technologie te bezetten, had ik nog geen idee welke rompslomp het opbouwen van zo'n afdeling aan een technische hogeschool met zich mee brengt. Langzamerhand ben ik wat gewend aan de vele activiteiten die U in dit verband ontplooit. Dat ik aangeboden heb U voor een deel van Uw omvangrijke taak te ontlasten komt voort uit mijn verlangen ook in algemenere zin aan de verdere opbouw van onze afdeling te mogen meewerken en uit de overtuiging dat U daardoor de gelegenheid geboden wordt Uw energie nu op andere wijze aan de verdere ontwikkeling van de afdeling ten goede te doen komen.

*Waarde SLOTBOOM, Waarde DE VRIES,*

Waar uit de aard van onze respectieve vakgebieden vele aanrakingspunten in onze werkzaamheden volgen, ben ik zeer verheugd dat uit

het geregelde contact dat ik reeds met U mocht hebben, is komen vast te staan dat deze aanrakingspunten inderdaad ook tot een nauwe samenwerking zullen leiden.

*Waarde ERDTSIECK,*

Voordat ik aan deze T.H. verbonden was, hebt U reeds gedurende ruim een jaar de belangen van de sectie fysische technologie behartigd. Voor de wijze waarop U dit gedaan hebt en voor de verdere samenwerking, die ons nu dagelijks met elkaar in contact brengt, ben ik U zeer dankbaar.

*Waarde HEERTJES,*

Het proefschrift, waarop ik ruim 7 jaar geleden bij U promoveerde tot doctor in de technische wetenschap handelde over een studie in filtratie. Dit onderwerp was mijn eerste aanrakingspunt met de proceskunde. Vele gesprekken mocht ik naar aanleiding van deze studie met U hebben. Als collega's in hetzelfde vakgebied hoop ik met U en ook met U, Waarde KRAMERS, tot een ruime en vruchtbare gedachtenwisseling te kunnen komen.

*Waarde VLUJTER,*

Sinds ik onder Uw voorzitterschap in mijn eerste symposium-commissie zitting mocht nemen heb ik bijna voortdurend contact met U gehad en heb daarbij Uw stimulerende en corrigerende invloed ondergaan. In deze periode heb ik mijn loopbaan geleidelijk van karakter zien veranderen. Dat ik nu hier in Eindhoven mij mag wijden aan een taak die niet meer past in het chauvinisme van een enkele onderneming, maar waarmee ik het algemeen belang hoop te dienen, zie ik in de eerste plaats als een gevolg van dit geregelde contact dat ik met U mocht hebben.

Dat er nu op een nieuwe basis alle reden is dit contact verder voort te zetten is voor mij bijzonder verheugend.

*Mijne Heren leden van de directie, oud-collega's, medewerkers en vrienden van het Koninklijke Shell-Laboratorium te Amsterdam,*

Na bijna 12 jaar in Uw midden werkzaam te zijn geweest valt het mij moeilijk weer Nederlands te spreken. Uw gemeenschap benoorden het Y vormt wel een heel apart wereldje. Zoals ik reeds noemde hebt U Uw eigen taal: een mengsel van Amerikaans, Anglicismen en enkele Nederlandse tussenvoegsels. Ook hebt U Uw eigen gewoonten en levens-

stijl, Uw eigen verbindingdienst, waardoor nieuwe benoemingen en veranderingen in de organisatie als een lopend vuurtje door het laboratorium verbreed worden, waarbij dit proces ook wel eens in omgekeerde volgorde plaats vindt.

Een beter opleidingsinstituut voor de proceskunde dan Uw laboratorium kan ik mij moeilijk voor de geest roepen. Indien ik in mijn opzet voor de opleiding hier in Eindhoven mocht slagen zal dit voor een zeer groot deel te danken zijn aan hetgeen ik bij U en van U geleerd heb.

Zoals ik ook reeds tijdens mijn afscheid van Uw laboratorium gezegd heb is dat wat ik hier in Eindhoven het meest zal missen het geregelde contact met collega's uit hetzelfde vakgebied, alsmede de inspirerende invloed en de voortdurende dwang tot zelfcritiek die van dit contact uitgaat. De jaren die ik te Amsterdam heb doorgebracht zullen dan ook blijvend in mijn herinnering gegrift zijn.

#### *Dames en Heren Studenten,*

Vele woorden zijn vanaf deze plaats reeds tot U gesproken. Slechts weinig heb ik daar nog aan toe te voegen. U kreeg reeds wijze raadgevingen over de studie zelf. Voor de plaats die U later in de maatschappij zult innemen heeft men reeds Uw aandacht gevraagd en op de vorming van Uw karakter en Uw persoonlijkheid als complement van Uw studie heeft men meerdere malen de nadruk gelegd. Slechts één punt wil ik nog onder Uw aandacht brengen.

Diegenen onder U die in de procesindustrie hun bestemming zullen vinden, zullen bemerken dat dit een groot-industrie is met een vrij sterk doorgevoerde organisatievorm. De procesindustrie is weliswaar slechts weinig intensief aan handenarbeid echter naar verhouding tot andere industrieën zeer intensief aan intellectuele arbeid. U zult derhalve veel moeten samenwerken met collega's met ongeveer dezelfde opleiding, die zowel boven U, naast U als onder U gesteld kunnen zijn. Dit geldt in nog sterkere mate indien U bij de research of bij de ontwikkeling van nieuwe processen betrokken bent hetgeen voor de meesten van U het geval zal zijn. Het menselijke aspect van Uw arbeid wordt dan wel erg belangrijk. De speelsheid van het studentenleven, waarbij U terecht nog Uw eigen persoon centraal stelt, zult U dan geruimd moeten hebben voor de ernst van het bedrijfsleven waarbij U slechts een radertje van de gehele bedrijfsmachine vormt. U zult op onzelfzuchtige wijze Uw bijdrage moeten inpassen in het geheel en op deze wijze Uw aandeel in de totale verantwoordelijkheid dragen.

Hier zou ik een waarschuwing tot U willen richten: waakt er voor de organisatie van de onderneming niet als doel op zichzelf te zien. Dit zal Uw creatieve arbeid niet ten goede komen. De organisatie is er voor U, om Uw arbeid mogelijk te maken, om U in de gelegenheid te stellen van anderen te leren en om de samenwerking met Uw collega's te bevorderen. En niet omgekeerd.

Uiteraard kunt U bij mijn bedrijfskundige collega's alles leren over organisatieleer en menselijke verhoudingen. Op mijn wijze hoop ik echter ook tot Uw vorming op dit punt bij te dragen door in het laboratorium voor fysische technologie omstandigheden te scheppen die gunstig zijn voor een goede samenwerking tussen U en Uw collega's onderling en ook tussen U enerzijds en de wetenschappelijke en technische staf anderzijds.

Tenslotte hoop ik dat ook de menselijke verhouding tussen U en mij altijd een steun voor U zal blijven.

Ik dank U voor Uw aandacht.