

DE NATUURKUNDE  
IN DE NATUURWETENSCHAPPEN  
EN IN DE TECHNIEK

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING  
VAN HET AMBT VAN HOOGLERAAR IN  
DE NATUURKUNDE, METEOROLOGIE  
EN KLIMATOLOGIE AAN DE  
LANDBOUWHOGESCHOOL  
OP 3 FEBRUARI 1948

DOOR

Dr W. R. VAN WIJK



H. VEENMAN & ZONEN - WAGENINGEN

*Mijne Heren Curatoren,  
Mijne Heren Professoren,  
Mevrouw en Mijne Heren Lectoren, Docenten en Doc-  
toren,  
Dames en Heren Wetenschappelijke Medewerkers en  
Assistenten,  
Dames en Heren Studenten,  
en voorts Gij allen, die hier tegenwoordig zijt,*

*Zeer geachte en gewaardeerde Toehoorders,*

Wij leven in een tijd, waarin in wijde kring een intense belangstelling voor de natuurwetenschappen valt waar te nemen. Een belangstelling bij de overheid, industrie en het publiek, die tot uiting komt, o.a. in het steunen van wetenschappelijk en toegepast wetenschappelijk onderzoek, in de stichting van werkgroepen en instituten, in de reorganisatie van het onderwijs, kortom in het nemen van maatregelen om de beoefening van deze wetenschappen in de toekomst krachtiger te doen plaats vinden dan tot dusver het geval was. Hoezeer vele natuuronderzoekers zich ook over deze stand van zaken mogen verheugen, hun vreugde wordt getemperd door het besef dat de verhoogde belangstelling ten dele samenhangt met de verarming in de na-oorlogse wereld en met de in die wereld heersende spanningen. Terzelfdertijd echter noopt hen dit tot bezinning over de vraag, wat de maatschappij in deze tijd van de natuurwetenschappen verwacht en hoe de beoefenaar van deze wetenschappen de verwachtingen kan realiseren.

De eerste vraag laat zich gemakkelijk beantwoorden. Een intensieve beoefening van de natuurwetenschappen zal tot toepassingen leiden, die nieuwe bronnen van welvaart leveren, waardoor het mogelijk moet worden voor de snelgroeiende wereldbevolking een redelijke levensstandaard te handhaven en deze te bereiken in de gevallen, waarin de levensstandaard thans te laag is. Men kan zich voorstellen, dat de bestaande grondstoffen en productiemiddelen op rationelere wijze worden gebruikt en daardoor een grotere hoeveelheid producten ter beschikking komt, of doordat nieuwe grondstoffen, energiebronnen en productiemiddelen worden ontwikkeld en tenslotte doordat tot dusver onbekende producten worden vervaardigd. In samenwerking met economen en sociologen zullen de technici dienen te komen tot een juiste regeling van de productie en tevens tot een redelijke distributie van de vervaardigde artikelen. Het is te hopen, dat daarbij een samenwerking op internationale basis mogelijk wordt, opdat een industriële wedloop voorkomen worde, welke, zoals wij in de jaren

voor de laatste wereldoorlog enigermate hebben kunnen zien, even desastreus gevolgen kan hebben als een bewapeningswedloop.

Op de vraag, hoe de natuuronderzoeker aan de aan hem gestelde verwachtingen kan voldoen, zal ik in het volgende ingaan. Daarbij zal ik mij direct beperken tot de natuurkunde en hare toepassingen in de techniek en andere wetenschappen.

In het recente verleden hebben de toepassingen van de natuurkunde in de techniek een dusdanige vlucht genomen, dat het ongetwijfeld verantwoord is ook voor de toekomst grote verwachtingen te koesteren. Men hoeft hierbij geenszins alleen te denken aan de zgn. atoomenergie, die nu zozeer in het brandpunt van de belangstelling staat, of aan andere gebieden van de natuurkunde van de atoomkern, zoals het gebruik van kunstmatige radioactieve elementen, waarmee men processen kan volgen die zich in het levende organisme afspelen.

Op vrijwel elk gebied van de natuurkunde heeft een zeer belangrijke vooruitgang plaats gevonden, met als gevolg een groot aantal technische toepassingen. In een rede over de beoefening der natuurkunde en de toekomst van ons land, heeft professor HOLST enige daarvan genoemd en andere besproken, welke in de naaste toekomst in een voor de practijk geschikt stadium zullen kunnen komen en voorts nagegaan op welke wijze het wetenschappelijk en toegepast wetenschappelijk onderzoek hier te lande zou dienen te geschieden om de beste resultaten op te leveren.<sup>1)</sup> In binnen- en buitenland is in verschillende artikelen ditzelfde onderwerp nog van andere zijden belicht.

Het zou ongetwijfeld voor de hand liggen op deze plaats na te gaan in hoeverre de natuurkundige toepassingen in de landbouw tot een belangrijke vooruitgang zouden kunnen bijdragen. Deze behoeven niet alleen directe toepassingen te zijn, doch ook via de werktuigbouw, de technologie of andere wetenschappen kunnen zij op de landbouw inwerken. Dat op het gebied van de landbouw grote mogelijkheden liggen, bewijzen de in de laatste tijd vooral in het buitenland bereikte resultaten. Men denke aan de mechanisatie van het landbouwbedrijf, de ontwikkeling van de techniek van het bewaren, conserveren en drogen, het extraheren van plantaardige oliën en in het algemeen de techniek van het verwerken van de producten van landbouw en veeteelt. Men denke voorts aan een doelmatiger gebruik van de bodem, aan de toepassing van de moderne inzichten over de beweging van water door ondergrondse lagen, waarbij het water als een veerkrachtige stof beschouwd dient te worden, aan de invloed van straling en vochtigheid op de groei van planten en aan vele andere onderwerpen, welke natuurkundige aspecten bezitten.

Het is zeker de taak van de hoogleraar in de natuurkunde aan de Landbouwhogeschool, daadwerkelijk mede te werken aan het invoeren van de natuurkundige methoden die van nut zijn voor de land-

<sup>1)</sup> Holst, Ned. Tijdschr. v. Natuurk. jaarg. XII p. 123, 1946.

bouw en de veeteelt, waarbij wij in het bijzonder natuurlijk denken aan toepassingen in de verschillende delen van de Nederlandse Rijks-gemeenschap. Een bespreking van de mogelijkheden daarvoor zou echter in principe aansluiten bij de bovengenoemde beschouwingen over de natuurkunde en de industrie. Om deze reden zal ik Uwe aandacht daarvoor niet vragen, hoe belangrijk het onderwerp ook is.

Er is echter nog een andere mogelijkheid dan de toepassing, waarmede de natuurkunde een bijdrage kan leveren aan de techniek en niet alleen aan de techniek, doch evenzeer aan andere wetenschappen. Op het ogenblik neemt de natuurkunde een bijzondere plaats in onder de natuurwetenschappen, doordat hier in hoge mate experiment en theorie samengaan en daarbij een vergaand gebruik wordt gemaakt van de wiskunde. Het inrichten van de experimenten op een zodanige wijze dat een wiskundige bewerking van de resultaten mogelijk wordt, het ontwerpen van speciale meetapparatuur daarvoor, het streven naar generaliseren van de verkregen uitkomsten en het met elkander in verband brengen van gebieden, die uiterlijk verschillend zijn, doch die blijken in hun mathematische ondergrond overeenkomst te vertonen, dit zijn enige eigenaardigheden van de natuurkunde, waaraan zij een practische waarde ontleent ook voor die gebieden der techniek en natuurwetenschap, die ver staan van de eigenlijke in de natuurkunde behandelde onderwerpen.

Naarmate een natuurwetenschap groeit en daarmee ook het aantal bekende feiten toeneemt, ziet men in den regel het streven toenemen de voornaamste onderwerpen op wiskundige wijze te behandelen. En niet zonder reden. Wanneer men erin slaagt een wiskundige basis te vinden, wordt het mogelijk een groot feitenmateriaal op eenvoudige wijze te ordenen en het daardoor te overzien. Men verkrijgt een inzicht in de samenhang tussen verschillende gebieden en kan daardoor van de ervaring op het ene terrein verkregen, in andere gevallen gebruik maken. Men kan de onderlinge belangrijkheid van een aantal tegelijk werkzame factoren quantitatief afwegen. En zo wordt het mogelijk ook gecompliceerde gevallen te begrijpen. Dit leidt weer tot het onderzoek van nieuwe gebieden. Zodra eenmaal bekend is, welke grootheden voor een mathematische behandeling in aanmerking komen, kan men zich tot de wiskundige wenden. Doch de grote moeilijkheid bij de natuurwetenschappen is, dat men uit de experimentele feiten juist diè grootheden moet zien te grijpen, welke de essentiële verschijnselen beschrijven zonder de mathematische behandeling te ingewikkeld te maken. Dit zullen in het algemeen voor verschillende wetenschappen verschillende grootheden zijn. En hier kan de natuurkundige door zijn scholing in deze richting een belangrijke bijdrage leveren. In de techniek is het welhaast nog belangrijker de gegevens waarover men te beschikken heeft, quantitatief te overzien en daardoor in staat te zijn quantitatieve conclusies te trekken.

Met het draineren van een landstreek, met het bouwen van een

fabriekencomplex zijn grote uitgaven gemoeid en het is daarom noodzakelijk alle zijden van een project zo grondig mogelijk te beschouwen. Bovendien zijn het niet alleen de directe uitgaven, welke men in de beschouwing dient te betrekken; dikwijls maken de zichtbare kosten slechts een fractie uit van de werkelijke bedragen. De consequenties die de uitvoering van het project heeft op de omgeving, moeten als onzichtbare kosten of eventueel baten ook in rekening worden gebracht.

In de regel zijn echter de gegevens die men ter beschikking heeft, ten enenmale onvoldoende voor het trekken van zo vergaande conclusies. Juist dan is het noodzakelijk te woekeren met de beschikbare feiten. Bovendien leert men scherp de lacunes zien waarin door het nemen van proeven kan worden voorzien. Door zich tot deze experimenten te beperken bespaart men dan een grote hoeveelheid tijd en geld. En voor het uitvoeren van deze experimenten lenen zich wederom de natuurkundige grootheden en methodes, naast de eveneens zeer belangrijke chemische analyses. Kan men aanvankelijk spreken van toepassing van de natuurkunde in de techniek, zij het van de wiskundige beschrijvingsmethode dezer wetenschap, uit dit contact zal zich ontwikkelen een steeds verdergaande quantitatieve beschrijving van technische grootheden, die ten slotte voeren moet tot de invoering van diè grootheden, waarmede zulk een beschrijving het eenvoudigst plaats kan vinden. De essentiële grootheden zijn dan gevonden en men kan voortaan van een geheel zelfstandige theoretische ontwikkeling van de technische wetenschap zelve, spreken. Een welbekend voorbeeld van zo'n technische grootheid vindt men in een kengetal, zoals dat van GRASSHOFF, NUSSELT of REYNOLDS, dat bestaat uit een combinatie van natuurkundige grootheden, doch als een nieuw geheel, de beschrijving van de processen in warmte-overdracht en vloeïstofstroming zeer vereenvoudigt.

Wij zullen in het volgende aan een bepaald geval nagaan hoe de inwerking van de natuurkunde op een technische wetenschap en wel de technologie plaats vindt. Hierbij zijn drie fasen te onderscheiden. In de eerste fase heeft men zuivere toepassingen van de natuurkunde, b.v. de constructie van meetapparatuur; vervolgens een fase, waarin de gemeten gegevens quantitatief worden gebruikt en tenslotte de fase, dat de voor de technologie essentiële grootheden, die als zodanig niet in de natuurkunde optreden, worden opgespoord en gebruikt. De keuze van de technologie als voorbeeld berust enerzijds op het grote belang van deze sterk op de practijk gerichte wetenschap voor de landbouw, anderzijds op het feit, dat hier de invoering van de natuurkundige quantitatieve beschouwingen van recente datum is. Voorts omdat deze wetenschap verder van de natuurkunde afstaat dan b.v. de electrotechniek, de werktuigbouw, de meteorologie of de physische chemie, welke op zichzelf genomen overigens ook zeer fraaie voorbeelden vormen van de geschetste ontwikkeling.

Met hetgeen in Nederland onder chemische en fysieke technologie wordt verstaan, komt in de Angelsaksische landen de „Chemical Engineering” het meest overeen. Het Amerikaanse instituut van „Chemical engineers” definieert „Chemical Engineering” als de ingenieurswetenschap, die zich bezighoudt met de ontwikkeling en toepassing in de praktijk van werkwijzen, die met chemische en fysieke veranderingen van de materie hebben te maken. <sup>1)</sup> Allerlei chemische en physicochemische reacties vallen hieronder, waarvan b.v. fermenteren, oxydatie, basenuitwisseling en vele andere de landbouw direct raken. Verder natuurkundige processen, die voor het uitvoeren van deze reacties van belang zijn, of voor het afscheiden en zuiveren van de reactieproducten, dan wel van de uitgangsstoffen. Mengen, destilleren, filtreren, extraheren, warmteoverdracht, diffusie zijn dergelijke processen, waarvan eveneens de landbouwkundige toepassingen duidelijk zijn.

In het begin van deze eeuw verkeerde de technologie grotendeels in het stadium van een zuiver empirische wetenschap. Wel was zij nauw verbonden met de scheikunde, doch de typisch technologische problemen treden eerst bij de industriële toepassingen op. Het gebruik van grondstoffen die uit vele componenten bestaan, waardoor nevenreacties optreden, het controleren van reacties, die met grote hoeveelheden stof worden uitgevoerd, het afvoeren van de reactiewarmte, waarbij dikwijls als eis wordt gesteld de temperatuursverschillen klein te houden, het transport van de stoffen en de catalysatoren, de voorzuivering, menging en opslag zijn enige voorbeelden van de vraagstukken, waarvoor de technologie geplaatst wordt.

Daarbij is voor de industriële ontwikkeling van beslissend belang of men erin slaagt, een economisch verantwoorde oplossing te vinden. Op typisch Amerikaanse wijze drukt POTTER dit als volgt uit: „Wat ook de teller moge zijn in een vergelijking die men aan technische studenten voorzet, de dollar moet altijd in de noemer optreden, hetzij direct, hetzij indirect.”

Zo groot waren in de aanvang de ondervonden moeilijkheden, dat vele technici meenden, dat het vinden van een strenge wiskundige basis voor de technologie onmogelijk zou zijn. Alleen een langdurige ervaring en kennis van een zeer groot feitenmateriaal zou de technoloog in staat stellen deze problemen praktisch te beheersen. Van geval tot geval moeten daartoe telkens bij iedere afwijking van bekende werkwijzen tijdrovende en kostbare proefnemingen worden gedaan om in de nieuwe omstandigheden de optimale condities te vinden. Alle toepassingen komen daardoor onafhankelijk van elkander te staan en het wordt zeer moeilijk voor de technoloog, die op een bepaald gebied werkzaam is, zich in een ander gebied in te werken. Eenzelfde opvatting treft men niet zelden aan bij technici en beoefenaars van een

<sup>1)</sup> Newman, Trans Am. Inst. Chem. Engrs. Supplement to 34 p. 6, 1938.

natuurwetenschap waar het nog niet is gelukt een beschrijving op wiskundige basis te verkrijgen. Hiertegenover kan men stellen, dat juist naarmate het aantal factoren, dat men in de beschouwing dient te betrekken, groter is, het des te belangrijker wordt door zulk een behandelingswijze orde in de chaos van feitenmateriaal te brengen. Helaas kan men eerst achteraf de vraag beantwoorden of zulks in een speciaal geval mogelijk is; doch de historie geeft vele voorbeelden waaruit men moed kan putten.

Het is daarvoor wellicht van belang op te merken, dat ook in de natuurkunde zelf, telkens zich een dergelijke moeilijkheid voordoet wanneer een nieuw gebied in studie wordt genomen. En nog niet lang geleden, zeg een dertig jaar geleden, meenden vele experimentele natuurkundigen eveneens het met slechts zeer weinig theorie te kunnen stellen. Een opvatting, die men nu nauwelijks meer zal tegenkomen. En inderdaad, ieder die wel eens het spectrum van ijzer heeft gezien, zal toegeven, dat het op eerste aanblik hopeloos moest schijnen dit spectrum met zijn vele duizenden lijnen te willen ontwarren. En dan bedenke men dat dit spectrum, daar het door een atoom wordt uitgezonden, nog eenvoudig is vergeleken bij dat, hetwelk de moleculen uitzenden.

Toch is het gelukt de spectra te ontwarren en thans kan een natuurkundige zich in enige maanden tijds meer kennis over dit onderwerp eigen maken, dan vroeger in zijn gehele leven mogelijk zou zijn geweest. Maar pas het volle belang van de wiskundige natuurbeschrijving ziet men in dit geval in door te bedenken, dat dezelfde wetten die PLANCK en BOHR voor de spectra geformuleerd hebben, het fundament vormen van de moderne atoom-theorie, die weer op haar beurt, b.v. in de scheikunde toepassing vindt.

Doch laat ons thans weder tot de technologie terugkeren. Reeds in het stadium van de zuivere empirie werden fysische grootheden gemeten; druk, temperatuur, hoeveelheid der aan het systeem toegevoerde grondstoffen, e.a. Men trachtte hiermede de condities vast te leggen, waaronder volgens de ervaring een procédé goed verliep bij een bepaalde grondstof. Bij overgang op een nieuwe grondstof moest de empirie de nieuwe waarden leren, waarop verder de instelling zou moeten geschieden. Met de toeneming van het aantal stoffen, dat bereid werd en het ingewikkelder worden van de processen zelf, namen zowel de eisen, die men aan de metingen ging stellen, alsook het aantal grootheden, dat men ging meten toe, b.v. de dielectrische constante, de viscositeit, trachtte men continu te meten, evenals de dichtheid. Hiermede kwam de toepassing van de natuurkunde in het ontwerpen van meetinstrumenten, die logischerwijze gevolgd werden door regelinstrumenten. Immers het ligt voor de hand een grootheid, zeg de temperatuur, direct te gebruiken voor het instellen van een regelafsluiter, in stede van de temperatuur af te lezen en vervolgens opdracht te geven een afsluiter te verstellen. Een belangrijk feit was echter, dat

men tevens de beschikking kreeg over feitenmateriaal, dat quantitatief te bewerken was en dat met het proces in verband kon worden gebracht.

Een zeer belangrijke stap voor de ontwikkeling van de technologie is geweest de invoering van de elementaire bouwstenen, d.w.z. chemische elementaire processen en fysische elementaire werkwijzen, waarvan de hierboven gegeven reacties en handelingen voorbeelden vormen. Hiermede werd de technologie opgevat als te zijn opgebouwd uit deze elementaire bouwstenen, die telkens op verschillende wijze gecombineerd de verschillende industriële processen leveren. Men had nu nog slechts elk van deze elementaire processen te onderzoeken en deze op een logische wijze te combineren om daarmee tot een basis voor de gehele technologie te komen. Op het belang van de fysische elementaire handeling vestigde o.a. LITTLE in 1915 de aandacht en sindsdien zijn deze naast de chemische processen intensief bestudeerd.<sup>1)</sup> Ook in de elementaire processen keert dezelfde volgorde van de invloed van de natuurkunde weder. In enkele gevallen, zoals bij de overdracht en uitwisseling van de warmte voor de constructie van koelers, verdampers of verwarmingsovens e.d. kon men direct gebruik maken van de ervaring, die bij de stoommachine was opgedaan, zodat men hier in principe niet verder hoefde te gaan dan toepassing van het bekende. Natuurlijk moet men wel rekening houden met speciale eisen wanneer men nu eens met zeer taaie vloeistoffen, dan weer met gemakkelijk ontleedende stoffen te maken heeft en dikwijls met sterk corroderende producten.

Speciaal voor de toepassing in de chemische industrie gaf DREW in 1931 een overzicht van een aantal technisch belangrijke gevallen van warmteoverdracht, die voor de Amerikaanse lezer moeilijk toegankelijk waren, alsmede de mathematische theorie van de warmteoverdracht.<sup>2)</sup> Het is interessant te zien hoe daarvoor het werk van een FOURIER, POISSON, GRAETZ, LEVEQUE, GROEBER, nog steeds als basis dient, hoewel in de loop der tijd vele verbeteringen zijn aangebracht. In de warmte-overdracht voor de chemische industrie hebben wij derhalve een voorbeeld van een elementaire handeling welke volledig beschreven kan worden door toepassing van de reeds in de natuurkunde en andere industrieën vergaarde kennis. Dit betekent natuurlijk geenszins dat toepassing kan geschieden zonder dat op grote schaal origineel werk nodig is en inderdaad ziet men dat zulk werk o.a. voor regelapparaten en constructie van ovens speciaal voor de technologie geschiedt. De fundamentele grootheden echter, zijn op dit gebied bekend en eerst wanneer men onder geheel andere omstandigheden zou komen te werken, dan thans het geval is, zou de noodzakelijkheid kunnen optreden geheel andere basisgrootheden in te voeren.

<sup>1)</sup> Zie Shreve *The Chemical process industries*, Mc Grawhill, 1945.

<sup>2)</sup> Drew. *Trans. Am. Inst. Chem. Engrs.* 26 p. 26 1931.



Een voorbeeld van een handeling, waarbij na de periode van de toepassingen nog een stadium van eigenontwikkeling à priori verwacht mag worden, is de typisch in de technologie thuisbehorende destillatie.

Onder destillatie vat men de methoden samen, waarmede een splitsing teweeg gebracht wordt tussen de hoog- en laagkokende bestanddelen, die gezamenlijk in een mengsel voorkomen, door verdampen en het verdichten van de dampen tot vloeistof. Laat ons als voorbeeld een mengsel beschouwen waarop de mensheid reeds sinds eeuwen de kunst van het destilleren met grote virtuositeit heeft toegepast; het mengsel alcohol en water. Wanneer met water verdunde alcohol gedeeltelijk wordt verdampt, dan blijkt de gevormde damp rijker te zijn aan de lager kokende alcohol dan de oorspronkelijke vloeistof was en natuurlijk is de damp a fortiori alcoholrijker dan de achtergebleven vloeistof.

Deze wijze van destilleren door gedeeltelijke verdamping en de damp te condenseren en daarna eventueel het destillaat weder te verdampen, is de oudste wijze van destilleren. Volgens FORBES gaat de techniek hiervan reeds terug tot de Kopten in het begin van onze jaartelling en zij is door de Arabieren naar Europa overgebracht.<sup>1)</sup> Warmtetechnisch bezien is deze techniek erg ongunstig en bovendien voor de verwerking van grote hoeveelheden moeilijk te hanteren, vooral wanneer vele trappen van verdamping worden toegepast.

Bij de tegenwoordig meest gangbare wijze van destilleren wordt de ontwikkelde damp in aanraking gebracht met vloeistof van telkens andere samenstelling. Deze vloeistof is zelf eerst door condensatie uit de damp gevormd. De vloeistof loopt daarbij in een kolom over platen naar beneden, terwijl de dampen door openingen in de platen opstijgen en bij het borrelen door de vloeistof de lagerkokende delen uit de vloeistof opnemen. Omgekeerd staat de damp zijn hoogst kokende bestanddelen aan de vloeistof af en zo vindt een uitwassing van beide fasen tegelijkertijd plaats in tegenstroom, waardoor het mogelijk wordt een hoge zuiverheid van de eindproducten, nl. het destillaat en het residu, te verkrijgen op een economische wijze. Deze moderne wijze van destilleren is in principe ontstaan in het begin van de vorige eeuw, toen de bereiding van alcohol uit wijn in Frankrijk, destillatie van grote hoeveelheden vloeistof noodzakelijk maakte, waarbij de warmte-economie zwaarder ging wegen dan te voren het geval was.

Iets later werd eveneens in Frankrijk de eerste poging gedaan om een destillatie-apparatuur te berekenen.<sup>1)</sup> Uit een dergelijke berekening moet volgen hoeveel platen gebruikt moeten worden, welke hoeveelheden damp als condensaat in de kolom teruggevoerd worden en wat de zuiverheid der verkregen eindproducten wordt. Met behulp van deze gegevens kan dan de constructie van een kolom en de daarbij behorende verdere apparatuur de koelers, de verhittingsketel e.d., ter hand worden genomen. Een volgende stap zou zijn rekening te

<sup>1)</sup> R. J. Forbes, De Ingenieur, 59e Jaargang No, 24 p. 24 p.M. 15, 1947.

houden met wisselingen in de samenstelling van het uitgangsmateriaal en derhalve na te gaan, wat de consequenties daarvan op de zuiverheid van de eindproducten zijn.

Het is eerst de studie van de evenwichten tussen damp en vloeistof geweest en meer in het algemeen de ontwikkeling van de warmteleer in het midden en de tweede helft van de vorige eeuw, die een wetenschappelijke basis heeft verschaft voor de berekeningen van de destillatie. Wij zien dan ook als toepassing daarvan aan het einde van de negentiende eeuw dat de theorie van het eenvoudigste geval, nl. de destillatie van mengsels, die uit slechts twee bestanddelen bestaan, het stelsel alcohol-water behoort tot deze groep, wordt ontwikkeld. Onder de velen die zich hiermede verdienste hebben verworven, noemen wij in de negentiende eeuw slechts SOREL en HAUSBRAND, in het begin van de twintigste, MAILLER, lord RALEIGH, THORMANN en W. K. LEWIS. Een weinig later, nl. in 1925, kwamen MC CABE en THIELE met een zeer elegante grafische methode voor de dag en wij noemen verder het ongeveer gelijktijdige werk van UNDERWOOD en in Nederland W. H. KEESOM.<sup>1)</sup>

Hoe ingenieus ook in vele gevallen de theorie is, zij vertoont alle typische kenmerken van te zijn toegepaste natuurkunde en toegepaste fysische chemie; de voor de technologie essentiële grootheden die met het tegenstroomproces en met de systemen, die vele bestanddelen bevatten, samenhangen, heeft men daarbij nog niet kunnen introduceren.

De berekening van een kolom vindt volgens deze methoden plaats, door met behulp van de warmteleer de samenstelling te berekenen van de vloeistof en de damp die een bepaalde plaat verlaten; uit de gevonden waarden kan men vervolgens de samenstellingen van vloeistof en damp op de volgende plaat vinden en zo voortgaande verkrijgt men de samenstellingen op iedere plaat in de kolom. Deze handelwijze noemt men de berekening van plaat tot plaat. Voor iedere scheiding door destillatie dient men een aantal van dergelijke berekeningen te maken, waarbij de warmteconsumptie en het totaal aantal platen in de kolom worden gevarieerd en daarop moeten de verkregen resultaten onderling worden vergeleken, waarna de meest economische kolom kan worden uitgekozen.

Voor de systemen die slechts twee bestanddelen bevatten, is deze manier van berekening nog wel toe te passen al is zij reeds daar weinig overzichtelijk en voor de practijk toch nog vrij omslachtig. Om deze redenen pleegt men de onderstellingen in te voeren, dat de verdampingswarmte per gram-molecule voor alle componenten in het mengsel dezelfde is en verwaarloost men de voor het opwarmen van de steeds hoger kokende vloeistof benodigde warmte. De praktische hanteerbaarheid van MC CABE en THIELE's methode berust op deze

<sup>1)</sup> Mc Cabe en Thiele Ind. Eng. Chem. 17 609, 1925.

onderstellingen. Doch het behoeft niet gezegd te worden, dat deze vereenvoudiging ten koste van de exactheid gaan.

Voor systemen met drie en meer bestanddelen worden de complicaties reeds bij het berekenen van de evenwichten op iedere plaat afzonderlijk zo groot, dat de berekening van plaat tot plaat tijdrovend wordt en vrijwel steeds met de genoemde en eventueel nog enige andere vereenvoudigde onderstelling wordt uitgevoerd. Men verzoegt zich uit dien hoofde meestal met een vereenvoudigde berekening te maken voor een of een paar kolommen, waarmede de gevraagde scheiding is teweeg te brengen en legt dan een flinke zekerheidsfactor op de gevonden warmteconsumptie en het aantal schotels. Het wordt verder aan de praktijk overgelaten empirisch de gunstigste instelling op te zoeken, waarbij door de theorie het gebied van de variatiemogelijkheden is beperkt.

Doch zelfs onder toepassing van vereenvoudigingen is bij een groot aantal componenten de berekening tijdrovend. Heeft men b.v. tien componenten, dan moeten in iedere stap 21 vergelijkingen worden opgelost. Wat dit betekent voor een kolom met een vijftigtal schotels, zoals tegenwoordig voorkomt, laat zich makkelijk gissen. Hierbij komt nog een essentiële moeilijkheid voor de uit vele componenten bestaande systemen.

Men dient nl. uit te gaan van een plaat, waarop de samenstelling, hetzij van de vloeistof hetzij van de damp bekend is. Men zou kunnen menen, dat daarvoor de producten, die men wenst te bereiden geschikt zijn. Een nadere beschouwing echter leert, dat noch van het destillaat, noch van het residu, de samenstelling ten volle bekend is. Het destillaat b.v. bevat ook de hoogst kokende component die in het uitgangsmengsel voorkomt, zij het dat in vele gevallen de hoeveelheid in het destillaat zeer gering is, zodat deze op de eigenschappen van het product van geen invloed meer is. Een concentratie van een duizendste procent is op de eigenschappen van het eindproduct meestal van geen invloed en dus praktisch gelijk aan nul te stellen.

Doch bij de berekening van de kolom maakt het een groot verschil uit welke concentratie aanwezig is. Is de concentratie exact nul, dan vindt men op geen plaat de bedoelde component aanwezig en dus ook niet in het residu; is zij niet exact gelijk aan nul, dan neemt voor de volgende platen de concentratie geleidelijk aan toe en zij kan zelfs groter worden dan de concentratie van alle andere componenten. Alleen bij een juiste keuze der waarde van de concentratie in het destillaat zal het mogelijk zijn precies op de samenstelling van het residu uit te komen. En zo staat men voor de moeilijkheid, dat men voor de berekening de uiterst geringe concentraties van de zware componenten in het destillaat nauwkeurig moet kennen, hoewel deze voor de zuiverheid van het destillaat van geen belang meer zijn. Het vinden van de juiste waarden dezer concentraties, geschiedt wederom door enige malen proberen.

Hier zien wij nu hoe de basiswetenschap het wel mogelijk maakt in principe de theorie van de destillatie en daarmee dus de empirie aan te vullen, doch dat in de practijk de moeilijkheden bij deze toepassing zo groot worden, dat daardoor geen overzichtelijke behandeling mogelijk is, tenzij in de eenvoudigste gevallen.

Voor de verdere ontwikkeling van de techniek langs minder empirische wegen is het noodzakelijk de technologisch essentiële variabelen op te sporen en daarop de theorie te baseren. Dit nu is in de laatste tijd gelukt.

Het enorme belang dat de chemische industrie heeft bij de destillatie van systemen van vele componenten is de oorzaak geweest, dat in de laatste 25 jaar zij zelfs het belangrijkste onderwerp in de Amerikaanse technologische literatuur uitmaakt. De Studie van de evenwichten tussen gas en vloeistof voor systemen, die vele componenten bevatten, werd met kracht ter hand genomen en in het bijzonder werden de koolwaterstofmengsels onderzocht op aandrang van de petroleum-industrie, waar aan de destillatie van de minerale olie steeds hogere eisen werden gesteld. En zo gaf de ontwikkeling van de techniek weer aanleiding tot uitbreiding van het natuurkundig onderzoek. Echter op een andere wijze dan vroeger geschiedde.

De zoëven besproken berekeningsmethoden zouden nog omslachtiger zijn geweest, had men niet reeds van de aanvang af de verschillende componenten als in hoge mate van elkander onafhankelijk verdampend kunnen beschouwen. Men onderstelt daarbij, dat de concentratie, welke een component in de damp bezit, die boven een vloeistofmengsel staat, alleen afhangt van de concentratie die dezelfde component in de vloeistof bezit en dus onafhankelijk is van de verdeling van de andere bestanddelen. De thermodynamica leert dat zulks alleen mogelijk is wanneer tussen de beide concentraties een evenredigheid bestaat, en wat de technologie dus vroeg, was het bepalen van de evenredigheidsfactoren. Nu is de verdamping van een component in sterke mate afhankelijk van de overige bestanddelen die in het mengsel voorkomen en men zou daarom menen, dat de genoemde onderstelling slechts een ruwe benadering zal kunnen vormen; doch dit is geenszins het geval. Men kan nl. op listige wijze gebruik maken van de omstandigheid dat het voor de hanteerbaarheid der evenredigheidsfactoren van geen invloed is wanneer deze nog van de temperatuur en de druk afhankelijk zijn. En door deze afhankelijkheid goed te kiezen kan men voor een belangrijk gedeelte de variaties in de samenstelling van het mengsel beschrijven.

Hier heeft dus de technologie de voor haar geschikte wijze van beschrijving van de evenwichten tussen gas en vloeistof gevonden en daarmee een schrede gezet naar een eigen ontwikkeling. Van een volledige afsluiting van het tijdperk der toegepaste natuurkunde en physische chemie kan men echter eerst spreken wanneer ook voor het tegenstroomproces zelf de essentiële factoren zijn gevonden. In de

laatste jaren is het ook gelukt deze te vinden, grootheden die uiteraard wel samenhangen met de temperatuur, de druk en de concentraties, doch die evenzeer nieuwe grootheden voorstellen voor de technologie, als de entropie dit is voor de thermodynamica. Thans is het mogelijk de theorie in een zo eenvoudige gedaante te gieten, dat men de invloed van de verschillende factoren kan overzien. Een berekening van een kolom levert nu niet meer alleen een enkele kolom, waarmede de scheiding tussen hoog en laagkokende bestanddelen kan worden uitgevoerd, doch tegelijkertijd alle mogelijke kolommen, het zijn er oneindig vele, welke de scheiding geven. Bovendien blijken de vereenvoudigende onderstellingen, die wij in het voorgaande hebben genoemd, te kunnen vervallen, daar de theorie ook onder zeer algemene omstandigheden hare eenvoudige gedaante behoudt.

Het is hierdoor mogelijk problemen te overzien, welke men vroeger nauwelijks vermocht te stellen, waarvan het onderweg aftappen van een product een voorbeeld is. Het zij nog opgemerkt, dat de theorie van de destillatie uiteraard ook van toepassing is op de andere tegenstroomprocessen, de extractie en de absorptie. Bij de extractie heeft men te doen met twee verschillende vloeistoffen, die elkander uitwassen; zo kan men door extractie de welriekende bestanddelen van een aetherische olie, zeg ruwe sinaasappelolie, concentreren. Bij absorptie worden de waardevolle stoffen uit een gas gewonnen door het gas met een vloeistof uit te wassen, die niet, zoals bij de destillatie door condenseren van de damp is gevormd, maar die uit geheel andere stoffen dan in het gas voorkomen, kan bestaan. Ook drogen in tegenstroom valt als grensgeval onder deze klasse van werkwijzen. Van al deze werkwijzen is naar sprekers mening in de naaste toekomst via de theorie een grote praktische ontwikkeling te verwachten; trouwens ook nog van enige andere gebieden van de technologie, waar eveneens het theoretisch inzicht groeiende is. En zoals in het voorgaande werd betoogd zal een logische consequentie hiervan zijn, dat nieuwe grondstoffen en mogelijkheden ter beschikking komen, welke aanleiding geven tot een voorlopig volkomen empirische ontwikkeling van weder geheel andere gebieden.

In sommige gevallen kan zelfs de in het bovenstaande als derde phase genoemde inwerking van de natuurkunde de hoofdzaak zijn. Zo zijn in de tak van mijnbouw die zich met de ontginning van aardoliehoudendelagen bezig houdt, de zgn. reservoirengineering, de eigenlijke toepassingen van de natuurkunde momenteel nog volkomen bijzaak. En het grote aantal natuurkundigen, dat op dit gebied werkzaam is, is alleen te verklaren uit hun geschooldheid in het quantitatief en critisch verwerken van feitenmateriaal en het trekken van conclusies daaruit. De hoofdproblemen zelf, die neerkomen op het economisch opvoeren van een zo hoog mogelijk percentage van de in de laag aanwezige aardolie, liggen geheel op mijnbouwkundig terrein.

Hebben wij tot dusver gesproken over de vooruitgang die in een tak

van wetenschap of techniek op zichzelf beschouwd, wordt verkregen door de verruiming van inzicht, niet minder belangrijk is de mogelijkheid, die daardoor wordt geschapen voor technici en wetenschappelijke onderzoekers om zich in korte tijd de fundamenten eigen te maken op een ander gebied dan hun eigen vakgebied. Het gecompliceerde karakter van vele industriële vraagstukken maakt het noodzakelijk, dat overleg wordt gepleegd tussen specialisten op geheel verschillende gebieden, die dikwijls de grootste moeite hebben, elkanders wijze van uitdrukken en redeneren te begrijpen.

Te trachten hierin verbetering te brengen en daarmee het nuttig effect van zulke samenwerking te verhogen, is een belangrijk deel van de taak, die op de hogescholen rust. Wanneer men eenmaal erin geslaagd is een gemeenschappelijke basis te vinden voor de wijze, waarop de problemen worden gesteld en behandeld, wordt het tevens eenvoudiger dat technici, die specialist zijn in een bepaalde tak der techniek, eventueel ook met vrucht werkzaam kunnen zijn op een ander gebied, wanneer een wijziging in de industriële structuur zulks noodzakelijk mocht maken. De grote maatschappelijke gevaren, die kleven aan vergaande specialisatie worden daarmee verminderd.

Na het voorgaande zal het wel duidelijk zijn, dat naar sprekers mening, deze gemeenschappelijke basis gevonden kan worden in de quantitative methoden van redeneren. Men zou zelfs kunnen zeggen, dat voor die takken van techniek als de technologie, de mijnbouw en voor die wetenschappen als biologie en geologie, ja zelfs economie, die op zichzelf vrij ver van de natuurkunde afstaan, de natuurkunde door de theorie van praktisch belang is. En zo kan men begrijpen, dat juist in die landen, waar de industrie het sterkst ontwikkeld is, het Duitsland van vóór de oorlog en thans de Verenigde Staten van Noord-Amerika, het streven bestaat ook voor deze gebieden het onderwijs in de wis- en natuurkunde uit te breiden. Zou men in het eerste geval nog kunnen denken, aan een neiging tot theoretiseren, de Amerikaan kan men toch hiervan moeilijk verdenken. Daarbij wordt er naar gestreefd, de student steeds zo vroeg mogelijk met het gebruik van deze wetenschappen voor praktische gevallen vertrouwd te maken en hem het begrip bij te brengen dat een technische oplossing eerst is verkregen, wanneer de berekeningen weer in ijzer en beton of eventuele schema's van werkwijzen zijn omgezet.

En wanneer wij nu trachten samen te vatten wat de natuurkunde kan bijdragen tot de ontwikkeling van de techniek, dan luidt het antwoord daarop: In de eerste plaats, door de hier opzettelijk niet besproken directe toepassingen, doch daarnaevens in het quantitatief interpreteren van verschijnselen, het trekken van quantitative conclusies daaruit en het leggen van verband tussen verschillende takken van wetenschap en techniek.

Bij het invoeren van nieuwe werkwijzen kan men daarvan gebruik maken om verschillende onderdelen afzonderlijk te bestuderen, waarna

men via berekening en welgekozen experimenten deze kan combineren. Men kan een deel der experimenten op verkleinde schaal uitvoeren, hetgeen besparing in tijd, materiaal en kosten betekent. En dit is vooral van belang, in ons geval van een statengemeenschap, waarin vooreerst nog het aantal van de beschikbare deskundige krachten en de technische hulpmiddelen gelimiteerd zijn.

Het zij mij vergund van deze plaats mijn eerbiedige dank te betuigen aan Hare Majesteit de Koningin, aan Wie het heeft behaagd mij te benoemen.

*Mijne Heren Curatoren,*

Het verheugt mij thans de gelegenheid te hebben aan U en daarmede tevens aan het voormalig College van Herstel, mijn dank te mogen uitspreken voor het vertrouwen dat Gij in mij stelt. Bij de besprekingen, die ik met enigen Uwer mocht hebben, heeft het mij zeer getroffen, hoe Gij de Hogeschool als een dynamisch geheel ziet, waar de wisselwerking tussen de verschillende delen met de ontwikkeling van wetenschap en techniek varieert en in het algemeen intensiever wordt. Door de natuur- en weerkunde niet als een afzonderlijk gebied op te vatten, doch als een onderdeel van de voor de landbouw belangrijke natuurwetenschap, hoop ik in deze richting een bijdrage te kunnen leveren.

*Mijne Heren Hoogleraren, Dames en Heren Lectoren, docenten en wetenschappelijke werkers aan de Hogeschool,*

Het is mij een groot voorrecht in Uw kring te zijn opgenomen. De met het praktische leven verbonden vraagstukken hebben steeds in hoge mate mijn belangstelling gehad. Meer en meer heb ik leren inzien, dat hier op den duur slechts fundamenteel onderzoek resultaten van blijvende waarde oplevert. Het is voor mij bijzonder aantrekkelijk zulk onderzoek, gezamenlijk met U in de wetenschappelijke sfeer ener Hogeschool uit te voeren.

*Dames en Heren Wetenschappelijke werkers aan Universiteiten, de Technische Hogeschool en Instituten,*

Het is mij een vreugde het contact met U weder op te nemen. In het bijzonder ben ik U, leden van de staf van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut te De Bilt, erkentelijk voor de wijze waarop Gij mij hebt ontvangen.

Wanneer ik bij deze gelegenheid naga, welke personen belangrijke invloed op mijn wetenschappelijke en technische vorming hebben uitgeoefend, dan wil ik mijn gewezen leermeester, wijlen professor ORNSTEIN gedenken, die naast zo vele andere qualiteiten, in hoge mate de gave bezat de problemen groot te zien, hoofdzaken en bijzaken te

scheiden. Het zij mij veroorloofd enkele regels aan te halen uit de rede, die Professor ORNSTEIN heeft uitgesproken bij de viering van den 296ste verjaardag der Utrechtse Hogeschool op 11 April 1932:

„Nu wij in deze tijd met rustig en ernstig oordeel overwegen moeten wat voor de mensheid nodig en noodzakelijk is, nu wij in productievorm en arbeidswijze voor vraagstukken staan groter dan wellicht sedert eeuwen aan de mens gesteld zijn — nu kan het nut hebben ons af te vragen wat onze wetenschap bereikt heeft, of haar taak eeuwig is voor de mens, of dat zij slechts past in het kader van een bepaald productiestelsel.

Doch bij de eminent praktische betekenis die ons vak heeft en steeds meer gekregen heeft, zouden wij eenzijdig zijn in ons oordelen en overwegen als wij die andere zijde van de taak der natuurkunde, de taak in de toepassing en haar waarde voor het produceren — afgezien van de sociale vormen van het productieproces — niet in de kring onzer beschouwingen trekken.”<sup>1)</sup>

Het is mij niet mogelijk allen te bedanken, van wie ik veel heb geleerd. Ik moge daarom volstaan met nog de samenwerking te vermelden met vele vroegere collega's bij de Bataafse Petroleum Maatschappij, Werktuigkundig ingenieurs, Mijnbouwers, Physici, Technologen, Chemici en Geologen, welke samenwerking voor mijn vorming zeer belangrijk is geweest.

*Hooggeleerde Prins,*

Ons eerste contact dateert reeds van vele jaren geleden. Gij weet hoezeer ik Uw arbeid in het algemeen en in het bijzonder aan deze hogeschool waardeer, waarbij gij steeds het verkrijgen van inzicht als primaire factor hebt gesteld.

Het verheugt mij Uw werk verder te mogen voortzetten. Nu wij beiden bekend zijn met het terrein van elkanders tegenwoordige werkzaamheid, hoop ik ten zeerste, dat deze bekendheid in de toekomst tot een vruchtdragende samenwerking moge leiden.

*Mijne medewerkers aan de afdeling natuur- en weerkunde,*

In de korte tijd, dat wij gelegenheid hebben gehad elkander te leren kennen, heb ik met grote waardering kunnen constateren, hoezeer het werk U ter harte gaat en hoe ook teleurstellingen niet in staat zijn geweest de werkelijke vreugde, die gij in Uw werk scheidt, te verminderen. Moge ik U, Hooggeleerde REESINCK, nogmaals dank zeggen voor de voortreffelijke wijze, waarop Gij, onder zeer moeilijke omstandigheden, kans hebt gezien, het onderwijs gaande te houden, en U nogmaals gelukwensen met de uiterst belangrijke taak die Gij in Bandoeng thans vervult.

<sup>1)</sup> Ornstein, De Beteekenis der Natuurkunde voor Cultuur en Maatschappij, Van Druken, Utrecht, 1932.



*Dames en Heren Studenten,*

Velen van U zullen later in het maatschappelijk leven leidende en verantwoordelijke posities innemen. Daarbij zult U telkens voor de moeilijkheid komen, de samenhang van een aantal te Uwer kennis gebrachte feiten trachten te moeten vinden, om vervolgens Uwe, soms verdragende, beslissingen te nemen. Dat het kleine onderdeel Uwer studie, dat de natuurkunde en meteorologie, electrotechniek en het mij toevertrouwde gedeelte der technologie gezamenlijk uitmaken, U daarbij mede tot steun moge zijn, is mijn streven.