

## Het moderne analytische onderzoek in de scheikunde

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

Keulemans, A. I. M. (1959). *Het moderne analytische onderzoek in de scheikunde*. 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.

HET MODERNE  
ANALYTISCHE ONDERZOEK  
IN DE SCHEIKUNDE

REDE

UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING  
VAN HET AMBT VAN GEWOON HOOGLERAAR

IN DE AFDELING DER

SCHEIKUNDIGE TECHNOLOGIE

AAN DE TECHNISCHE HOGESCHOOL

TE EINDHOVEN

OP DINSDAG 28 APRIL 1959

DOOR

A. I. M. KEULEMANS

*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 deze bijeenkomst met Uw tegenwoordigheid vereert.*

*Zeer gewaardeerde toehoorders,*

Toen in 1916 het Amerikaanse volk een antwoord gaf op de uitdaging van de centrale machten in Europa en de Verenigde Staten zich gingen mengen in het Europese conflict, benoemde president Wilson een raad van advies die de Marine in haar moeilijke taak zou kunnen bijstaan. Voorzitter van deze raad was de uitvinder Thomas Alva Edison; zijn benoeming in deze functie werd door de gehele Amerikaanse pers toegejuicht, de beste „brains” zouden nu beschikbaar zijn teneinde de resultaten van de wetenschap te kunnen toepassen op de problemen van de Marine. In deze raad had ook een eenzaam theoretisch physicus zitting, die zijn benoeming te danken had aan het feit dat bij het uitkiezen van zijn medeleden Edison de president had toegevoegd „We might have one mathematical fellow in case we have to calculate something out”<sup>1</sup>.

Dat in 1916 ook de betekenis van de chemici voor de oorlogsvoering nog niet hoog werd aangeslagen moge blijken uit de volgende anekdote. Kort na de oorlogsverklaring vaardigde de American Chemical Society een harer vertegenwoordigers af om aan het departement van Oorlog officieel de diensten van de Amerikaanse scheikundigen aan te bieden. Newton Baker, de toenmalige secretaris van het departement van Oorlog, bedankte de afgevaardigde en verzocht hem de volgende dag terug te komen. Hij werd toen wederom door de secretaris ontvangen, die

<sup>1</sup> J. B. Conant in *Science and Technology in the last Decade*, Columbia University Press, New York, 1952.

hem mededeelde het aanbod van de scheikundigen op hoge prijs te stellen. Het zou echter niet nodig zijn daarvan gebruik te maken daar bij het bestuderen van deze aangelegenheid was gebleken, dat het departement zelf een chemicus in dienst had.

Toen Amerika voor de tweede keer in een wereldoorlog ingreep, had het departement van Oorlog zijn staf aanzienlijk uitgebreid en een heel leger van wetenschappelijke en technische specialisten in dienst genomen. Als gevolg van de spectaculaire vooruitgang in vele takken van wetenschap en techniek groeide een oorlogsapparaat van een ongekende militaire macht. Een dergelijke gecombineerde activiteit van wetenschap en techniek was een nieuw verschijnsel, met de gevolgen waarvan we overigens thans nog worstelen.

Sinds 1940, het uitbreken van de 2e wereldoorlog, zijn nu weer bijna 20 jaren verlopen waarin zich de zojuist door twee punten ietwat tententius gekarakteriseerde ontwikkeling sneller dan volgens een rechte lijn heeft voortgezet. Het mag dan ook geen verwondering wekken dat vele van de heden ten dage bij het wetenschappelijk onderzoek gebezigde methoden radicaal verschillen van die welke bijvoorbeeld in 1916 werden toegepast. Met name in een laboratorium voor analytische scheikunde heeft zich naast de nog steeds onmisbare of nuttige attributen, zoals balansen, buretten en zwavelwaterstofapparaten, een aantal instrumenten een plaats veroverd waarvan in enige gevallen de gebruiker mogelijk meer met de buitenkant dan met het inwendige vertrouwd is; hij heeft zich ook snel vertrouwd gemaakt met de met behulp van deze apparatuur verkregen resultaten, zonder zich steeds te realiseren hoe deze resultaten tot stand kwamen. Het kan zijn dat U een dergelijke stand van zaken bedenkelijk vindt, maar daarnaast zult U moeten toegeven dat, om een voorbeeld te noemen, het juiste gebruik van een horloge toch niet voorbehouden behoeft te zijn aan diegenen die met het inwendige daarvan vertrouwd zijn.

Van nature zijn de mogelijkheden van een mens begrensd; hieruit volgt dat hij, bij een zich vrijwel grenzeloos uitbreidende wetenschap, gedwongen is over te gaan tot een steeds toenemende specialisatie. Dat ik thans voor U sta is een van de gevolgen van deze voortschrijdende specialisatie; een leeropdracht in de fysische methoden der analyse is, althans voor Nederland, een novum. Van de mij thans bij het aanvaarden van mijn ambt geboden gelegenheid zal ik gaarne gebruik maken

om U in korte trekken een indruk te geven van dit moderne vakgebied. Het heeft een goede reden dat ik daarbij uitga van de klassieke, ook wel genoemd natte, analytische scheikunde.

De voorgeschiedenis van de moderne scheikunde is tengevolge van de natuurlijke ontwikkeling voor een zeer belangrijk gedeelte de geschiedenis van de suprematie van de analytische scheikunde. Niemand minder dan de beroemde organicus Friedrich Wöhler verzocht aan de grondlegger der analytische scheikunde Berzelius in Zweden om het privilege onder zijn leiding zich verder te mogen bekwamen in de scheikunde.

Reeds ten tijde van de oude Grieken heeft de nieuwsgierigheid van de mens zich gericht op het ontdekken van de samenstelling der dingen waarmede hij zich dagelijks omringd zag. Het is dus begrijpelijk, dat de volgelingen van Lavoisier, die zich bewust waren over geheel nieuwe middelen te beschikken, getracht hebben deze nieuwsgierigheid te bevredigen. Eerst veel later richtte hun belangstelling zich op de synthese, aanvankelijk van producten zoals de natuur die voortbracht, later ook op de vervaardiging van geheel nieuwe stoffen die in de natuur niet voorkomen. Uit dit streven ontstonden geleidelijk de afzonderlijke vakgebieden; de anorganische, de organische en de fysische chemie, die in het laatste gedeelte van de 19e eeuw duidelijk de leiding in de ontwikkeling van de scheikunde overnamen. Het zij hier opgemerkt, dat bij deze specialisatie het gebied dat wij thans nog met analytische scheikunde aanduiden, het meest verwant is aan de anorganische scheikunde. Een belangrijke taak bestond daarin, systematisch overzicht te verkrijgen van het grote aantal bekende verbindingen. Vanaf de tijd van Berzelius heeft de analytisch chemicus de grootste moeilijkheden overwonnen, waarbij van zeer bescheiden hulpmiddelen werd gebruik gemaakt. Hij heeft daarbij een met grote zekerheid werkend systeem ontwikkeld, met behulp waarvan hij de samenstelling van ingewikkelde mengsels van anorganische verbindingen zoals ertsen en mineralen zowel kwalitatief als kwantitatief kon bepalen.

Voor de kwalitatieve analyse werd dat bereikt door de keuze van een aantal betrekkelijk weinig selectieve reagentia, waarmede een scheidings in groepen van verbindingen en een aantal specifieke reagentia, waarmede binnen een groep de aard van het element of van de atoomgroep kon worden vastgesteld.

Wat de kwantitatieve analyse betreft, het is niet teveel gezegd dat de fundamenteën van de hedendaagse scheikunde steunen op de resultaten die met behulp van balans en buret zijn verkregen. De uitrusting van een laboratorium voor analytische scheikunde was tot betrekkelijk kort geleden de meest pretentieuze uit het gehele spectrum van de scheikundige vakgebieden. De kwaliteit van de behaalde resultaten werd in de eerste plaats bepaald door de kundigheid van de experimentator. Het zijn zonder twijfel deze beide factoren die veroorzaakt hebben dat over vrijwel de gehele wereld het vakonderwijs in de scheikunde aanvangt met een gedegen training in de analyse, waarbij de aspirant-scheikundige een goede gelegenheid wordt geboden voor het zich vertrouwd maken met de stoffen waarmee hij in de toekomst zal moeten omgaan.

Wij hebben ons tot nu toe bij deze beschouwing opzettelijk beperkt tot de taak van de analytische in de anorganische scheikunde. Binnen dit gebied waren er slechts weinig problemen voor welke oplossing de eenvoudige hulpmiddelen, waarvan hij gewend was zich te bedienen, ontoereikend waren. Bij wijze van voorbeeld willen wij twee van deze problemen noemen: de ordening van de natuurlijke silicaten en de analyse van de zogenaamde zeldzame aarden. Wat het eerste probleem betreft zou het beslist onjuist zijn het niet slagen als een tekortkoming te kwalificeren. Eerder is het tegendeel waar. Als na een reeks van nauwkeurige analyses de stoichiometrische samenstelling van een goed gedefinieerd kristallijn silicaat blijkt overeen te komen met een verhouding van 2 atomen H, 2 atomen Ca, 5 atomen Mg, 8 atomen Si en 24 atomen zuurstof komt hij in conflict met de wet van de multiple proporties, waaruit Dalton afgeleid heeft dat in een molecule van een scheikundige verbinding slechts kleine aantallen van de samenstellende atomen voorkomen. De analyst, die gewend is dat afwijkingen van deze wet alleen voorkomen in het gebied van de organische scheikunde, is zozeer overtuigd van het door hem verkregen resultaat, dat hij eerder geneigd is aan de geldigheid van genoemde wet te twijfelen.

De wijze waarop het silicatenprobleem door vader en zoon Bragg met behulp van röntgendiffractie werd opgelost is een van de eerste voorbeelden waarbij een instrumentele methode de met behulp van klassieke methodes verkregen resultaten op beslissende wijze aanvult.

Beschouwen we thans het probleem van de zeldzame aarden. Deze elementen vertonen in scheikundig opzicht dusdanig grote analogieën,

dat zij zeer lang weerstand konden bieden aan pogingen, hen door precipitatie methodes van elkaar te scheiden. Het is nog niet zo lang geleden, dat Spedding via de methodes van chromatografie en ionenuitwisseling er in slaagde deze elementen in zeer hoge graad van zuiverheid in hoeveelheden van kilogrammen te bereiden. Van die tijd af nam de belangstelling voor deze elementen sterk toe; zij worden nu reeds in vele gebieden met succes toegepast. Men mag hier zeggen dat deze ontwikkeling eerst mogelijk was nadat de analytische moeilijkheden waren overwonnen, hetgeen het devies „Analysis is the Key to Chemical Progress” zou kunnen rechtvaardigen.

Was de klassieke analyst, op een enkele uitzondering na, in het gebied van de anorganische scheikunde oppermachtig, daarentegen ziet men dat in het gebied van de organische scheikunde, waar het aantal verbindingen dat tussen slechts enkele elementen gevormd kan worden, dat van alle bekende anorganische verbindingen vele malen overtreft, zijn systematiek niet tegen alle problemen is opgewassen. Het duurde lang voordat de organicus, meer in het bijzonder hij die zich met de synthese bezig hield, meer informatie verlangde dan uit een nauwkeurige elementaire analyse kon worden verkregen; deze analyse had dan niet zelden als voornaamste doel het resultaat te bevestigen dat hij met zijn synthese hoopte te bereiken.

De organicus, de pharmacoloog, de biochemicus, die weet dat hij wat de analyse van zijn verbindingen betreft, slechts in beperkte mate steun heeft te verwachten van de in hoofdzaak anorganisch georiënteerde analytici, wordt zijn eigen analyst; hij ontwikkelt zijn eigen methodieken en ook weet hij met klassieke en zeer eenvoudige hulpmiddelen aan het ongelooflijke grenzende prestaties te leveren. Als met behulp van het elektronen-microscop voor het eerste een molecule van het mozaïk-virus zichtbaar wordt gemaakt, kan het verkregen beeld slechts ondergeschikte correcties opleveren voor de organicus, die met haast onfeilbare intuïtie zich met klassieke hulpmiddelen een beeld van dit molecule had ontworpen. Het zou onjuist zijn te beweren dat de analytici bij de ontwikkeling van de organische scheikunde geen rol gespeeld heeft; zijn betekenis is hier echter zonder twijfel beduidend minder dan in de anorganische scheikunde. Het is dan ook te begrijpen dat, nadat gedurende de laatste 40 jaren de chemische industrie, die tot dan toe in hoofdzaak anorganisch of agrarisch was, geleidelijk uitgebreid werd met een, zoals thans gebleken is, zeer levensvatbare orga-

nische industrie, het vak analytische scheikunde verder aan betekenis moest inboeten; daarmee kreeg ook het prestige van de analyst in het chemische bedrijf een gevoelige deuk. Zijn status bereikte een dieptepunt toen een groot aantal kleine chemische bedrijven als paddestoelen uit de grond oprezen. In deze bedrijven was zijn taak beperkt tot het uitvoeren van standaardtests op de aangevoerde grondstoffen en het controleren of het gefabriceerde eindproduct aan de specificatie voldeed. Met het productieproces zelf had hij niets te maken.

Zien we dus de betekenis van de scheikundige analyse voor vele chemische bedrijven sterk verminderen, tegelijkertijd was in de researchlaboratoria een reveil al duidelijk merkbaar. Binnen verschillende specialistische vakgebieden ontwikkelde zich een nieuw type analyticus. De experimentator bleek bij de pogingen om zijn onderzoek vooruit te brengen regelmatig gehandicapt te zijn door het ontbreken van voor zijn doel geschikte analysemethoden. Heel vaak komen deze nieuwe analytici voort uit de biochemie of fysische chemie. Aan de biochemici vooral hebben we menige fraaie en universele analysemethode te danken, hetgeen begrijpelijk is als men bedenkt, dat weinigen als zij te maken hebben met een zo gecompliceerde materie als bijvoorbeeld de eiwitten.

Staat U mij toe thans iets te vertellen uit de ontstaansgeschiedenis van een der belangrijkste groepen van moderne fysische analysemethoden, de verdelingschromatografie. Voor deze geschiedenis behoef ik slechts van één enkele bron gebruik te maken, nl. een tafelrede van de biochemicus die deze methodes ontdekt en zelf ontwikkeld heeft, A. J. P. Martin.

Deze biochemicus had na het beëindigen van zijn studie aan de Universiteit te Cambridge tot opdracht het Vitamine E van de begeleidende verontreinigingen te zuiveren. Behalve door toepassing van de door Tswett ontwikkelde chromatografische adsorptie methodes, trachtte hij deze zuivering uit te voeren met behulp van tegenstroomextractie. Verdeelt men het onzuivere Vitamine E tussen twee, niet met elkaar mengende vloeistoffen, dan zal bij een geschikte keuze de ene vloeistof relatief iets meer van het vitamine, de andere vloeistof relatief iets meer van de begeleiders bevatten. Door de sterke overeenkomst tussen stof en begeleiders, zijn de verschillen in oplosbaarheid klein en zullen voor het verkrijgen van een product van redelijke zuiverheid een groot aantal centrapsextracties nodig zijn. Martin trachtte dit te realiseren in een



automatisch werkend apparaat, dat hij in 1935 voltooide en waarvan de werking met 200 extractietrappen overeenkwam. Het was een apparaat met een 90-tal kleppen die elk om de 2 à 3 seconden gelicht werden, waardoor het een leven maakte als een oordeel. Dat was bijzonder hinderlijk omdat het instrument een constant toezicht vereiste, maar het voornaamste was dat het werkte. Hij slaagde er niet alleen in om Vitamine E te isoleren, bovendien kon hij aantonen, dat er van dit vitamine meer dan één actieve vorm bestaat. Korte tijd later zocht één van zijn collega's, Synge, hem op, om te zien of Martin's machine ook gebruikt kon worden voor het scheiden van een mengsel van acetylaminozuren, door middel van water-chloroform extractie. Daar dit niet lukte bouwde Martin een nieuw apparaat. Omstreeks 1938 veranderde hij van betrekking en slaagde erin Synge mee te krijgen, waarna de beide biochemici spoedig weer een ander fantastisch instrument gebouwd hadden. Het maakte deze keer geen lawaai, maar wat erger was, het vormde een constante bedreiging voor de gezondheid, doordat het lokaal waarin ze werkten zich met chloroformdamp vulde. Dit nieuwe apparaat vereiste, evenals zijn voorgangers, constant toezicht, dat zij in toerbeurten van acht uur op zich namen. Martin vertelt, dat het een tijd was waarin ze vele ontdekkingen deden, zoals de eigenaardige gevolgen van een chloroform-intoxicatie. Deze stof heeft een erbarmelijke invloed op iemands gemoedstoestand en daardoor kwam het, dat de aflosser geenszins met gejuich, maar met een stortvloed van scheldwoorden werd begroet. Een andere merkwaardige ontdekking was, dat frisse lucht een karakteristieke, maar niettemin opmerkelijk vreemde geur heeft. Martin ontwierp van die tijd af practisch iedere week een nieuw apparaat, totdat hij zelfs bij Synge geen gehoor meer vond. Hij acht het best mogelijk, dat tussen die ontwerpen er wel een gestoken heeft dat gefunctioneerd zou hebben, maar ze waren zeker allemaal te gecompliceerd om nog gebouwd te kunnen worden.

Er kwam een eind aan zijn problemen, toen hij bemerkte, dat de telkens terugkerende moeilijkheid bij het ontwerpen van zijn apparaten daarin stak, dat voor een goed contact tussen de twee vloeistoffen tenminste één ervan in disperse toestand moest worden gebracht. Zodra echter de druppels voor dit doel voldoende klein waren liepen ze de verkeerde kant uit en was het niet langer mogelijk de vloeistoffen in tegenstroom te laten bewegen. Martin merkte dat hij steeds onnodig met het hoofd tegen de muur gelopen was en dat het enige wat hij moest doen, was, één vloeistof stil te houden en de andere er langs te laten

lopen. Dit werd bereikt door wat silicagel te nemen en dit met water te bevochtigen; op deze eenvoudige wijze werd bereikt, dat een der vloeistoffen tegelijkertijd dispers was en zich niet meer kon bewegen. Met dit vochtige silicagel werd een buis gevuld; er werd een geringe hoeveelheid van de acetylaminozuren opgebracht waarna met chloroform gepercoleerd werd. Daags daarna hadden Martin en Synge aange-toond, dat met behulp van deze techniek leucine en alanine van elkaar gescheiden kunnen worden. Bij het gereedmaken van hun publicatie voor het *Biochemical Journal of London* in 1941 hebben zij enigszins speculatief hun methode gegeneraliseerd en de opmerking gemaakt, dat deze niet beperkt behoefde te blijven tot twee niet mengbare vloeistoffen, maar dat het mogelijk moest zijn een ervan door een gas te vervangen.

Na 1941 brachten Martin en zijn medewerkers Consden en Gordon nog een aantal belangrijke vereenvoudigingen in de techniek van de vloeistof-vloeistof chromatografie aan, waarvan de belangrijkste is, dat de kolom met vochtig silicagel vervangen wordt door een stuk vochtig filtreerpapier. De enorme betekenis van de papierchromatografie, niet alleen voor het klinisch laboratorium, is genoegzaam bekend. Het aantal publicaties, dat rechtstreeks over dit onderwerp handelt, loopt ver in de duizenden. Voor Martin zelf was het succes dat hij met zijn nieuwe analysemethodes heeft, bepalend voor zijn verdere ontwikkeling. Van nu af aan stelde hij zich tot taak nieuwe en betere gereedschappen voor het verrichten van onderzoek te ontwikkelen. Deze taak is bijzonder zwaar; de steeds terugkerende moeilijkheden houden verband met de gecompliceerdheid van de materie waarmede de biochemicus te maken heeft: ingewikkelde mengsels van grote moleculen waarvan het scheikundig gedrag weinig verschilt. Het lijkt wel iets op het probleem van de zeldzame aarden met bovendien de complicatie dat niet zelden de hoeveelheid stof waarmede de biochemicus werkt beperkt is tot enige milligrammen, vaak nog minder.

Na vergeefse pogingen om scheidingen die op gefractioneerde kristallisatie berusten uit te voeren volgens een kolomtechniek, probeerde Martin in 1951, ditmaal met zijn nieuwe medewerker A. T. James, de in 1941 door hem en Synge gesuggereerde generalisatie waar te maken. Zij brachten hiermede de gaschromatografie, die tot dan toe een scheiden bestaan geleid had, met één sprong in het middelpunt van de belangstelling. De hierop volgende, voor een analysemethode ongekend snelle, ontwikkeling is voor een niet gering deel te danken aan de belangstelling die de industriële laboratoria voor deze nieuwe techniek hebben.

Ditmaal zijn het niet alleen de research-laboratoria van de industrie, want in de bedrijfslaboratoria is inmiddels ook een en ander veranderd. Ik kom hier zo aanstonds op terug. Na de eerste publicatie van James en Martin, wederom in het *Biochemical Journal of London*, zijn thans reeds ruim 1400 publicaties, die rechtstreeks de gaschromatografie tot onderwerp hebben, verschenen. Toen eveneens in 1952, onafhankelijk van deze nieuwe ontwikkeling, aan Martin en zijn vroegere medewerker Syngge de Nobelprijs voor Scheikunde werd toegekend was het voor de Universiteit Cambridge te laat om Martin met de graad van doctor of Science te onderscheiden.

Alvorens in te gaan op enkele van de vele andere ontwikkelingen van nieuwe analytische methodes die in andere laboratoria gedurende de zojuist geschetste periode of daarvoor plaatsvonden, wil ik even terugkeren naar de analyticus in de chemische industrie die we kort geleden in een dieptepunt van zijn bestaan moesten achterlaten.

Zoals reeds opgemerkt werd de analyst door de productie leider gebruikt om met zijn tests en analysemethoden te bevestigen wat reeds vaststond, namelijk dat het geproduceerde aan de gestelde eisen voldeed. Toen enerzijds door de concurrentie de specificaties verscherpt werden en anderzijds snellere productiemethodes werden ingevoerd kwam het steeds vaker voor dat de productie leider er, zoals men dat noemt, naast zat. Aanvankelijk met enige terughouding maar weldra met toenemend vertrouwen riep hij de hulp in van zijn analytische afdeling. Het duurde niet lang of de analyst kwam tot de ontdekking dat zijn methodes te traag bleken om aan de vraag naar meer analyses te kunnen voldoen, hetgeen leidde tot uitbreiding van het personeel in het analytisch laboratorium met het doel snellere analysemethoden te ontwikkelen; zoals U ziet deed hiermede research op het gebied van de analyse duidelijk zijn entree in de industrie. Geleidelijk begon de productie leider minder op zijn intuïtie en steeds meer op de resultaten van het bedrijfslaboratorium te vertrouwen, hetgeen de taak van dit laboratorium niet onaanzienlijk verzwaarde. De vraag naar snelle resultaten blijft groeien, hetgeen goede afzetkansen schept voor een aantal instrumenten en apparaten welke voor het bereiken van een hoger werktempo ontwikkeld zijn, zoals snelle balansen, spectrofotometers en automatische buretten. Was het vroeger gebruikelijk de monsters bestemd voor een analyse te brengen naar een centraal laboratorium en de analyse-resultaten schriftelijk aan de productie afdeling door te geven, tegen

woordig ziet men op vele plaatsen dat tijdverlies wordt voorkomen door gebruik te maken van een pneumatische buizenpost die laboratorium en fabriek verbindt, terwijl de resultaten telefonisch worden doorgegeven. Spoedig ziet men nu ook talrijke fysische methodes der analyse hun intrede doen die het mogelijk maken het productieproces nog nauwkeuriger te volgen zodat een eind- of tussenproduct gefabriceerd kan worden dat aan de strengste specificaties voldoet. En dat in vele gevallen de specificaties inderdaad streng geworden zijn, wil ik toelichten aan een voorbeeld.

De analyticus van vandaag drukt zijn resultaten niet alleen meer uit in procenten of promilles, het aantal problemen waarbij de bepaling van miljoenste delen belangrijk geworden is, is groot en neemt nog regelmatig toe. De uitdrukking „parts per million” of p.p.m. heeft reeds burgerrecht verkregen en zal, los van het feit of een goede suggestie daartoe gedaan kan worden, wel niet meer te vervangen zijn.

Verontreinigingen in het p.p.m. gebied zijn vooral daar belangrijk waar het getal waarmede deze geringe hoeveelheid wordt vermenigvuldigd groot is. Zulks doet zich o.a. voor bij bepaalde katalytische processen waarbij de hoeveelheid van zekere katalysatorvergiften, die in de grondstof aanwezig zijn, bepalend is voor de levensduur van de vaak kostbare katalysatoren. Verontreinigingen in de lucht is men gewend uit te drukken in p.p.m., deze hoeveelheden dienen vermenigvuldigd te worden met de hoeveelheid lucht die een mens tijdens zijn leven inademt (ca. 500.000 m<sup>3</sup>).

Maar ook op geheel andere wijze kan een zeer geringe hoeveelheid van een verontreiniging zich in belangrijke mate doen gelden. Een kubusvormig kristalletje waarbij op één ribbe 100 atomen liggen bevat 1 miljoen atomen. Voor het gemak zullen we ons beeld naar het visueel waarneembare verplaatsen; wij vervangen dus het kristalletje door een kubus met 100 bij 100 bij 100 fietskogeltjes. (Terwille van de eenvoud van het beeld zullen wij afzien van de dichtste bolstapeling). Als de fietskogeltjes allen nauwkeurig even groot zijn, ontstaat een volkomen regelmatig patroon. Vervangen we echter ergens in het midden een kogeltje door een ander van een duidelijk grotere diameter, dan kunt U zich licht voorstellen dat de stapeling rond dit kogeltje zeer onregelmatig is en dat deze ordeverstoring zich nog in de verre omtrek voortplant, een verstoring die dus door 1 p.p.m. veroorzaakt wordt. In de praktijk spelen dergelijke verontreinigingen een belangrijke rol bij de bereiding van materialen voor halfgeleiders of voor katalysatoren.

Het laatste voorbeeld dat ik in dit p.p.m. gebied zou willen noemen is ontleend aan moeilijkheden die zich voordoen bij de bereiding van de z.g. hoogpolymeren. Het vorig jaar heeft Koningsberger er van hier op gewezen, dat het gedrag van deze nieuwe stoffen samenhangt met de omstandigheid, dat zij uit zeer grote moleculen zijn opgebouwd. In vele gevallen zal het toepassingsgebied groter zijn en binnen een bepaald toepassingsgebied het praktijkgedrag beter zijn naarmate de moleculen groter zijn! De spreiding in de molecuulgrootte mag daarbij bij voorkeur ook niet te groot zijn. Laten wij om de gedachten te bepalen de vorming van een molecule polytheen uit de moleculen van het gasvormige etheen vergelijken met het totstandkomen van een breiwerk, in dien zin, dat het polymeermolecule volgens een bepaald patroon moet worden gevormd. In de praktijk zal bij dit polymerisatieproces door geschikte keuze van katalysator en procescondities dit „aanbreien” wel lukken indien zich op de groeiplaats voldoende etheenmoleculen bevinden. Het is echter bij een technisch proces niet te vermijden, dat de grondstof, zij het ook zeer geringe, hoeveelheden van verschillende soms schadelijke verontreinigingen bevat, zoals in het geval van etheen bijvoorbeeld water, kooloxyde of acetyleen. De schadelijke werking bestaat daarin dat in de directe omgeving van een schadelijk molecule het groeiproces gestopt wordt. Het is duidelijk dat voor het bereiken van een molecuulgewicht van, zeg, 100.000, waarvoor de samenwerking van circa 3.500 etheen moleculen nodig is, het aantal stopper moleculen zeer gering gehouden moet worden. Bij de bereiding van polymeren kan men wel zeggen dat de kwaliteit van het product in sterke mate bepaald wordt door de zuiverheid van de grondstof en dat het ontoelaatbaar is dat van bepaalde verontreinigingen in de grondstof de hoeveelheid enige p.p.m. te boven gaat. Heeft men eenmaal een product van hoge kwaliteit bereikt, en U kunt zich nu wel voorstellen dat dit met hoge zuiveringskosten gepaard gaat, dan zal men ervoor moeten waken dat bij de verdere bewerking deze kwaliteit ook gehandhaafd blijft. Gebleken is, dat bepaalde metalen zoals cobalt of koper de eigenschap hebben om indien zij in het polymeer aanwezig zijn, een breuk in de moleculen te veroorzaken. Vooral bij polymeren van hoog molecuulgewicht kan in de praktijk de concentratie van deze metalen zo hoog worden, dat bijvoorbeeld 1 atoom metaal per polymeer molecule voorkomt, hetgeen bij de verwerking tot halvering van de molecuulgrootte zou kunnen leiden. Hierbij is nog afgezien van het feit, dat deze verontreinigingen kunnen migreren.

Welke methodes staan ons nu ten dienst voor het verrichten van kwanti-

tatieve analyses in het gebied van deze kleine concentraties? Om U een beeld te geven hoe klein die concentraties zijn kan opgemerkt worden, dat 1 p.p.m. overeenkomt met 10 vreemdelingen op een bevolking van 10 miljoen. Voor het tellen van deze vreemdelingen zoudt U kunnen denken aan een bevel waarop deze vreemdelingen zich naar één plaats begeven. Het daarmee gepaard gaande transport verstoort de orde en is tijdrovend, hetgeen slechts enige der aan deze overigens bruikbare methode verbonden bezwaren zijn. U kunt ook denken aan een koerier die op reis gaat om deze vreemdelingen op te sporen en te tellen; ook deze methode is tijdrovend al heeft ze het voordeel dat de orde niet verstoord behoeft te worden. Het denkbeeld van de koerier zou echter aantrekkelijk worden indien deze een snelheid van b.v. 300.000 km per seconde zou kunnen ontwikkelen, dat betekent dus, dat we voor het opsporen en tellen lichtstralen zouden moeten gebruiken. Op dit principe berust nu een groot aantal van de moderne methodes die daarbij echter geenszins beperkt zijn tot het gebied der kleine concentraties. Bij deze lichtabsorptie methodes geschiedt het tellen door de intensiteitsverandering van een lichtstraal, die een dunne laag van de te analyseren stof doorloopt, te vergelijken met de intensiteitsverandering bij het doorlopen van een even dikke laag van een bepaalde referentie stof. De intensiteitsverandering hangt, behalve van laagdikte en concentratie, af van de aard van de te onderzoeken stof en van de golflengte van het gebezigde licht. Meet men van een bepaalde stof de intensiteitsverandering als functie van de golflengte dan verkrijgt men een spectrum dat karakteristiek is voor de betreffende stof; hiermee wordt dus de mogelijkheid voor identificatie van een verbinding verkregen. In principe zijn deze methodes, waarbij van ultraviolet, zichtbaar of infraroodlicht gebruik gemaakt wordt, reeds oud. Betrekkelijk nieuw zijn de vaak ingenieuze instrumenten waarmee in slechts enkele minuten een geheel absorptiespectrum volledig automatisch kan worden gemeten en geregistreerd. Onderzoekingsmethodes die vroeger een grote vaardigheid van de experimentator vereisten kunnen thans worden uitgevoerd met behulp van instrumenten waarbij vrijwel elke menselijk element ontbreekt. Een groot voordeel hierbij is, dat de onderzoeker nu zijn tijd vrijwel geheel kan besteden aan de vaak moeilijke interpretatie van het spectrum en het trekken van conclusies. Een nadeel is dat men ten dele van deze instrumenten de slaaf wordt.

Er zijn hier slechts zeer in het kort twee groepen van moderne fysische analysemethodes ter sprake gekomen, de chromatografie en de absorptiespectrometrie, behorende respectievelijk tot de scheidings- en

identificatiemethodes. Ik wil nog een instrument noemen, de massaspectrometer, waarin de eigenschappen van scheiding en identificatie verenigd zijn. Voor het uitvoeren van routineanalyses van vluchtige verbindingen is de massaspectrometer in vele gevallen verdrongen door de gaschromatografie, voor researchtoepassingen blijkt de methode der kernspinresonantie een geduchte concurrent te gaan worden. Dit neemt niet weg dat, mede dank zij een aantal recente ontwikkelingen, de massaspectrometrie van alle instrumentele methodes nog steeds de meeste informatie verschaft.

De tijd ontbreekt om meer te doen dan slechts te noemen de belangrijke groep van moderne electrochemische methodes zoals de polarografie, de coulometrie, de amperometrie enz. Vooral voor de bepalingen van kleine concentraties hebben deze methodes grote verdienste.

*Geachte toehoorders,*

Wij staan nog slechts aan het begin van deze nieuwe ontwikkelingen. Nog nieuwere methodes en instrumenten staan reeds op het punt hun intrede te doen in het analytisch laboratorium, vergezeld van de belofte dat zij niet alleen oudere methodes zullen vervangen maar daarnaast nog vele andere voordelen hebben. Het komt voor, dat een moderne fysische analysemethode een oude methode geheel kan vervangen; onder de thans moderne instrumenten kunnen er zijn met een geringe levensduur. De korte geschiedenis van de instrumentele analyse heeft echter geleerd dat in iedere nieuwe werkwijze slechts voor een deel het vervangingselement aanwezig is, maar dat daarnaast oudere methodes niet alleen blijven bestaan, maar zelfs beter tot hun recht komen indien ze in samenwerking met de als concurrenten gedoodverfde nieuwe werkwijzen worden gebruikt. Het kan niet ontkend worden dat de onzekerheid in de levensduur van een nieuwere methode vaak een argument is van doorslaggevende betekenis bij de beslissing tot aanschaffing van de als regel zeer kostbare apparatuur.

Er zijn ook gevallen waar de hoge kostprijs van deze instrumenten een geringe of nagenoeg in het geheel geen rol speelt, zoals bijvoorbeeld in de petroleumindustrie of in de staalindustrie. Ik kan dit niet beter toelichten dan met een voorbeeld, dat ik ontleende aan een bezoek aan het bedrijfslaboratorium van de Koninklijke Nederlandse Hoogovens en Staal fabrieken N.V. Voor de oorlog verliep er circa 15 uur tussen

het laden van de Siemens-Martin oven met een mengsel van vast ruw ijzer en schroot van velerlei samenstellingen en herkomst en het toppen van de oven, gedurende welke tijdsduur door raffinage, staal van een bepaalde samenstelling moest worden bereid. Daartoe moesten tijdens de raffinage regelmatig monsters worden genomen en naar het bedrijfs-laboratorium ter analyse worden gestuurd. Het transport geschiedde per fiets. Door een zeer goede organisatie van het laboratorium werd bij de analyse een bijzonder hoge graad van perfectie bereikt; hierdoor was het mogelijk een drie-componenten staalanalyse binnen het half uur te verrichten; tijd tussen nemen monster en doorgeven resultaten circa drie kwartier.

Door het invoeren van spectrografische methodes naast het handhaven van de natte methodes voor koolstof en zwavel, lukt het thans een negen-componenten staalanalyse in slechts zes minuten uit te voeren. De tijd benodigd voor pneumatisch transport van het monster, de voorbereiding hiervan, spectrografische analyse en natte analyse, controle van de analyseresultaten en de telefonische mededeling aan de fabriek is ca. 15 minuten, waarbij door de ligging van het laboratorium t.o.v. de fabriek nog relatief veel tijd met het pneumatisch transport gemoeid is. De quantometers die voor de spectrografische staalanalyse worden gebruikt, hebben een hoge graad van bedrijfszekerheid bereikt, maar het is toch nog niet zover, dat het bedrijfslaboratorium het bij gebruik van deze instrumenten, zonder natte analysemethodes zou kunnen stellen. Een van de redenen is, dat de ligging van de spectraallijnen van de elementen koolstof, zwavel en fosfor een voldoende nauwkeurige bepaling voor deze, voor de analyse van staal zo belangrijke elementen, niet toelaat. Men zal nu binnenkort aan dit bezwaar tegemoet gaan komen, door het gebruik van een vacuumspectrograaf waardoor wederom een belangrijke tijdwinst zal worden verkregen. Bedenkt men, dat naast deze belangrijke tijdwinst, waardoor met grotere zekerheid de gewenste samenstelling in het staal kan worden bereikt, tevens een niet onaanzienlijke besparing van arbeidskrachten is verkregen, dan zal wel geen detailberekening nodig zijn om duidelijk te maken, dat bij het bereikte economische voordeel de prijs van de daarvoor benodigde analyseapparatuur geen rol speelt.

Bij de invoering van instrumentele analysemethodes in de laboratoria van de petroleum- en staalindustrie spelen motieven van economische aard een belangrijke rol. Het kan niet ontkend worden, dat bij degenen



die met de leiding van deze industrieën belast zijn, een zekere ongerustheid te bespeuren valt met betrekking tot de steeds hoger wordende prijzen van de nieuwe instrumenten, waarvan zij in zo'n belangrijke mate afhankelijk geworden zijn. Als men bedenkt, dat het niet ongebruikelijk is dat bij de overwegingen die tot aanschaffing van moderne analytische apparatuur leiden, gewoonlijk die van personeelsbesparing de doorslag geven, dan is er ruimschoots plaats voor een nieuwe ongerustheid omdat met de toenemende automatisering ook de analytische staf blijkt toe te nemen. Maar tegelijkertijd realiseert de leiding zich dat zij van de analytische afdeling steeds meer informatie verlangt en dat die door de nieuwe instrumenten ook inderdaad kan worden verschaft met een grotere snelheid en soms ook grotere precisie dan met de oude natte methode. Zij weet ook, dat voor het uitwerken van de vereiste methodes een staf van zeer hoge kwaliteit vereist is. In het laboratorium van de Koninklijke/Shell te Amsterdam b.v. telt de analytische afdeling enige tientallen academici, die zich voor een belangrijk gedeelte met het ontwikkelen van nieuwe analytische methodes bezig houden, en daarvoor over zeer kostbare apparatuur beschikken.

Aan Hare Majesteit de Koningin betuig ik, bij de officiële aanvaarding van mijn ambt als gewoon hoogleraar aan deze Technische Hogeschool, mijn eerbiedige dank.

*Mijne Heren Curatoren,*

Ik wilde U vooral danken voor het in mij gestelde vertrouwen waarvan mij gebleken is doordat U mij voor dit hoge ambt hebt willen voordragen. Ik kan U verzekeren, dat ik het als een bijzonder voorrecht heb beschouwd uitgenodigd te worden mede te mogen werken aan de totstandkoming van dit Instituut voor Hoger Onderwijs.

*Mijne Heren leden van de Senaat en Adviseurs,*

Voor een hoogleraar aan een Technische Hogeschool behoren het geven van onderwijs en het verrichten van wetenschappelijk onderzoek tot zijn normale taken. Bij mijn intrede in dit instituut is het mij direct duidelijk geworden, dat velen onder U zich bovendien nog belast hebben met zorgen, die met het gereedmaken van ons onderdak verband houden. Deze drie taken hebben een alfabetische volgorde die, vooral in ons natte klimaat, met hun urgentie overeenkomen. Eveneens

is het mij duidelijk geworden, dat het opbouwen van een nieuwe Technische Hogeschool een bijzonder drukke bezigheid is, die blijkbaar ook zijn bekoring heeft. Er zijn er onder U die reeds voor de tweede maal hun krachten inzetten voor de opbouw van een Technische Hogeschool. Mocht in ons land ooit een derde Technische Hogeschool nodig zijn, dan beschikt men over enige geroutineerde bouwhoogleraren. Hoe het zij, de combinatie van de drie genoemde taken laat geen ruimte voor het onlangs nog in een warm pleidooi verdedigde otium. Naast het uitspreken van mijn dank voor de sympathieke wijze waarop U mij in Uw midden opnam, wil ik met grote erkentelijkheid vermelden, dat ik bij het inwerken in mijn nieuwe functie menigmaal bij U om raad en bijstand heb moeten aankloppen en dat mijn beroep op U, ondanks Uw strijd met de tijd, nimmer vergeefs is geweest.

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

Vanaf onze eerste kennismaking heb ik het als een groot voorrecht onderhouden om met U te mogen samenwerken. Ik hoop met de opbouw van de aan mij toevertrouwde sectie spoedig zo ver te zijn, dat ik de belofte, U bij de analytische moeilijkheden voortkomende uit Uw onderzoekingen te helpen, in daden kan omzetten.

*Waarde VAN LOON,* gaarne wil ik hier getuigen van mijn waardering voor Uw werkkraft, dynamiek, visie, gevoel voor humor en voor alle andere eigenschappen die voor het bekleden van het voorzitterschap van een afdeling onmisbaar zijn. Op een tijdstip, dat ik met het „point of no return” zou willen vergelijken, ben ik overgegaan van een industrieel laboratorium naar het onderwijs. De beslissing hiertoe werd me aanzienlijk vergemakkelijkt door de reputatie, dat het onder Uw vlag goed varen is; ik ben blij, dat ik dat thans met eigen ervaring kan bevestigen.

*Waarde SLOTBOOM,*

De jaren waarin ik aan het Koninklijke/Shell laboratorium onder Uw leiding heb mogen werken, zijn, dank zij de brede opvatting van Uw taak, in meer dan één opzicht van beslissende invloed geweest op de loop die mijn leven verder heeft genomen. Staat U mij toe bij deze gelegenheid mijn dank uit te spreken voor het vele dat U voor mij heeft gedaan.

*Mijne Heren Directeuren, oud-collega's, medewerkers en vrienden van het Koninklijke/Shell laboratorium te Amsterdam,*

Zojuist heb ik gesproken over het „point of no return” waarbij ik er op zinspeelde, dat de tijd die ik aan de Technische Hogeschool hoop te verblijven in ieder geval korter zal zijn dan de tijd die ik in het Shell laboratorium mocht doorbrengen. In die tijd heb ik mogen werken onder de leiding van een aantal voortreffelijke chemici, o.a. Smittenberg, Visser, Hoog, en ook leiding mogen geven aan een groep medewerkers. Uit deze samenwerking zijn vele vriendschappen ontstaan waarvan mij onder meer gebleken is bij mijn afscheid in oktober van het vorig jaar. Het is begrijpelijk dat voor een nieuwe Technische Hogeschool steun van de industrie noodzakelijk is. Een belangrijke vorm van steun bestaat in het ter beschikking stellen van ervaring. Mijne Heren Directeuren, ik ben er trots op dat mijn overgang naar het hoger onderwijs geschied is met Uw instemming en ik wil U gaarne verzekeren, dat ik alles zal doen wat in mijn vermogen is om in dit instituut een waardig representant van Uw laboratorium te zijn.

*Dames en Heren Studenten,*

Reeds in de oudheid kende men aan de woorden rijk en rijkdom meerdere betekenissen toe. De eerste associatie die deze woorden oproepen heeft wellicht betrekking op bezit aan geld of goederen. Deze belangrijke vorm van rijkdom heeft de eigenschap distributief te zijn. De bezitter kan door uitdelen van zijn bezit anderen verrijken, hetgeen ten koste van zijn eigen rijkdom gaat.

Een tweede betekenis is rijkdom in de zin van een goede gezondheid; deze vorm is niet distributief. Door bezitters van een goede gezondheid wordt deze vorm niet vaak als rijkdom erkend, doordat zij te zeer als vanzelfsprekend wordt aanvaard.

Een derde vorm tenslotte is rijkdom in de zin van kennis. In deze vorm is de distributieve eigenschap behouden gebleven; hiervan getuigt onder andere deze T.H.; echter wordt de bezitter van kennis rijker naarmate hij hiervan meer uitdeelt.

Het zal U tijdens Uw verblijf aan dit instituut van Hoger Onderwijs wel gebleken zijn, dat er naar gestreefd wordt U deze kennis te laten putten, niet alleen uit de gebieden die noodzakelijk zijn voor het behalen van het ingenieursdiploma, maar ook uit gebieden die onontbeerlijk zijn om U tot mensen te vormen die de kennis die zij vergaarden kunnen overdragen, hetgeen nodig is om later in

de maatschappij een verantwoordelijke functie te kunnen bekleden. Mag ik deze toespraak beëindigen met een paar versregels die ontleend zijn aan een zinneprent welke in het bezit is van collega Hoogland, versregels die wel bijzonder van toepassing zijn voor de aanstaande scheikundigen onder U.

De grove stof versterft, de rest  
Behoud de *scheider* als het best:  
Alzo zoekt ook, door 't toebereiden,  
De Wijsheid met gena bekroond,  
Den Geest, die in den Mensche woond,  
Van zijne grove stof te scheiden.

Ik dank U allen voor Uw aandacht.

## DE SCHEIDER.



*De grove stof versterft, de rest  
Behoud de SCHEIDER als het best:  
Alzo zoekt ook, door 't toebereiden,  
De Wysheid met gena be kroond,  
Den Geest, die in den Mensche woond,  
Van zyne grove stof te scheiden.*

Na