

Werken aan scheikunde

*24 memoires van hen die de
Nederlandse Chemie
deze eeuw groot hebben gemaakt*

Uitgegeven door Delftse Universitaire Pers in 1993.
(Copyright 1993 by Delft University Pers).

Met toestemming van IOS Press, Amsterdam
op de KNCV/CHG website geplaatst.

Hoofdstuk

Geo Dijkstra
Spectrum
(Oorspronkelijke pagina's: 377-396)

Spectrum

Geo Dijkstra



5 oktober 1923 geboren te Lemmer

1935-1941 Barlaeus Gymnasium Amsterdam

1941-1951 studie Scheikunde Universiteit van Amsterdam

1951-1962 hoofd Instrumentele Analyse Unilever Research Zwijndrecht/Vlaardingen

1957 promotie op proefschrift: Infrared Absorption of the Carbon -Carbon Double Bond stretching Vibration, Promotor Prof.dr. J.A.A. Ketelaar

1962-1978 gewoon hoogleraar Spectrochemische Analyse Rijksuniversiteit Utrecht, daarna buitengewoon hoogleraar

1976-1977 voorzitter Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging

1978-1985 directeur Centraal Laboratorium voor Onderzoek van Voorwerpen van Kunst en Wetenschap Amsterdam

1979 Tswett-medaille van de Soviet Academie van Wetenschappen

1985-1987 namens Ministerie CRM toegevoegd aan RIVM met speciale opdracht

1972-1993 voorzitter Adviescommissie Toerusting Nationale Raad Landbouwkundig Onderzoek

Werkterrein: analytische chemie

'Science is Organized Common Sense' (Huxley)

Het wetenschappelijke landschap waarin zich de hier beschreven persoonlijke gebeurtenissen afspelen is de transformatie van de analytische scheikunde door de introductie van fysische methoden. De analyse in de eerste veertig jaren van deze eeuw berustte vooral op anorganische reacties, met een strikte werkdiscipline die de betrouwbaarheid garandeert. Daarnaast kwam sinds Bunsen-Kirchhoff rond 1880 de emissiespectroscopie op (fig. 1a en 1b), in de jaren dertig polarografie en ultraviolet absorptie, en de röntgenspectrografie. Luft bouwde in Duitsland een moderne infrarood(IR)spectrometer. De oorlog bracht eerst in Engeland, later in de USA de inschakeling van de esoterische specialismen van de universiteiten naar de militaire toepassingen. Infraroodanalyse van benzines, structuurbepaling van penicilline, massaspectrometrie (MS) voor isotopenanalyse, chromatografische scheiding van zeldzame aarden en radiochemie.

Voor de organisch-analytische methoden, scheiding zowel als structuurbepaling met IR en MS, gaven na 1945 de chemie een ander aanzien. Had de structuurbepaling van cholesterol van 1925 tot 1935 geduurd, die van penicilline duurde van 1941 tot 1944, die van aflatoxine in 1961 vier maanden. De detectie van specifieke verbindingen via infraroodspectrometrie, daarna gaschromatografie, daarna massaspectrometrie bracht detectiegrenzen omlaag tussen 1960 en 1990 met ruwweg een factor 1000 per decade. Opmerkelijk is dat deze methoden hun toepassing eerst in Engeland vonden (MS ook in de USA) en dat Nederland ze zo snel introduceerde dat er voor elk van deze methoden een fase was waarin er evenveel apparaten in ons land stonden als op de rest van het continent samen. De chemometrie vindt zijn origine in de statistische productiecontrole van de jaren '40 en de informatietheorie van de jaren '60. De automatisering slaat pas in de jaren '80 toe, vanuit de USA.

In Nederland waren er analytische scholen in Delft (Van Nieuwenburg), Utrecht (Schoorl) en Amsterdam (Aten). De naoorlogse opbloei van vooral organisch-analytische methoden was vooral een zaak van de industriële researchlaboratoria, die over geld voor instrumenten en voor wetenschappelijke contacten beschikten.

Na 1955 begonnen de universitaire laboratoria aan een inhaalrace, Amsterdam (Van Tongeren), Utrecht (Smittenberg) en Eindhoven (Keulemans, Cramers) voorop. Terwijl de maatschappelijke invloed van de analytische chemie groot is, brokkelde in het universitaire bestel de invloed en omvang af, waarbij Amsterdam en Eindhoven zich het beste handhaven. De elektrochemie, rond 1950 nog sterk vertegenwoordigd, is bijna verdwenen. De 'versterking van het centrale niveau', de in de jaren tachtig uitgevoerde bureaucratisering, leverde merendeels een verzwaring van de administratieve belasting van onderwijs en onderzoek op, door zich vaak wijzigende regels en de behoefte van het Centrale niveau aan informatie.

De organisatie van Scheikundig Onderzoek Nederland, die de ZWO-ondersteuning van de chemie beheert, is prijzenswaardig vrij van bureaucratische belasting, en werd vooral onder het voorzitterschap van Van der Kerk, gekenmerkt door fair 'judgment by peers'. SON werd een belangrijke stimulans en een waardevol forum voor gedachtenwisseling.

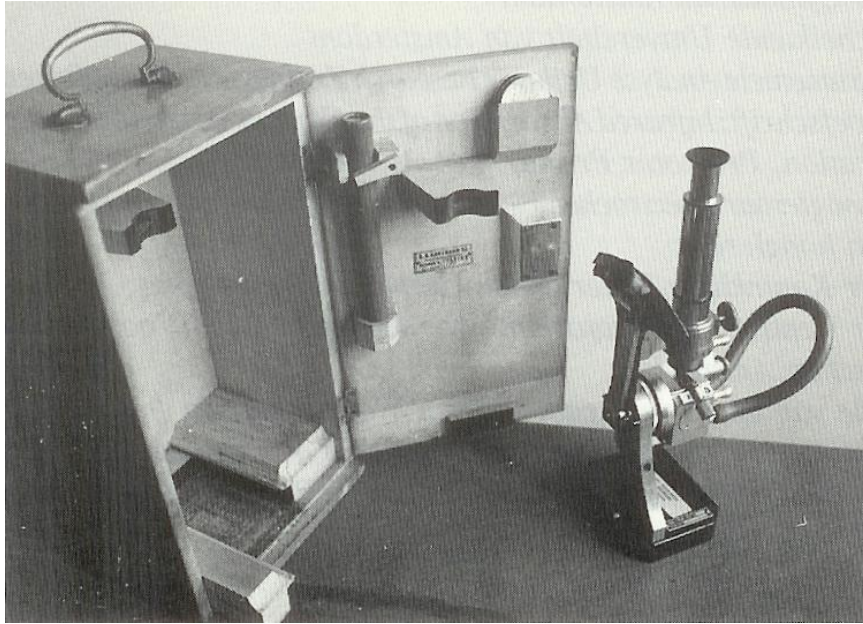


Fig. 1a. Refractometer anno 1935.



Fig. 1b. De oudste en de meest moderne emissiespectroscop waarmee de auteur heeft gewerkt: een Bunsen-Kirchhoff 'driepoot' en een Hilger 'Large' (Amsterdam 1947 – 1949). Links J.W. van Spronsen, redacteur van dit boek.

Levensschets: onderwijsgezin, socialisten

De lagere scholen in drie dorpen: Middelharnis, Beerta en Amsterdam-nieuw west (jaren dertig) waren onthutsend verschillende milieus: Middelharnis rustig orthodox protestant, Beerta communistisch (enige spelletje 'Marechaussees doodschieten') Amsterdam rood (met mij als allochtoon die zelfs nooit van voetbal had gehoord; spreek mij van discriminatie!)

Eerste belangstelling: astronomie, biologie, natuurkunde. Proeven met stroming van vloeistoffen en gassen, diffusie van rode inkt en ammoniak, hydraulica, elektriciteit. Barlaeus-gymnasium, met aarzeling tussen α (geschiedenis) of β (natuurkunde). Te veel werkloze geschiedenisleraren, Philips Natuurkundig Laboratorium als wenkend perspectief. Natuurkundeleraar Dik was solide in de klassieke natuurkunde - zijn basis van klassieke optica heeft me levenslang goed gediend - met als toegift de ontdekking van het He^+ uit spectraallijnen.

Scheikundeleraar Van Eijk gaf na een verplicht deel Bokhorst, zijn scheikunde vanuit de ionbindingstheorie à Van Arkel. Verder gaf hij atoomtheorie en atoomfysica, inclusief kernfysica.

In 1941 eindexamen, nog met de Joodse medeleerlingen, waaronder de geniale wiskundige Juda Waterman, het cabarettalent Sylvain Hoed en de poëet René Frank. De rijping van talent is onvoorspelbaar maar ik heb me vaak afgevraagd of die stukjes van onze cultuur er met hen en de andere vermoorde klasgenoten niet anders hadden uitgezien. Het gevoel van moreel tekortschieten bij het gaan naar de universiteit waartoe de toegang hun ontzegd was was groot - in de vermaakssfeer bleef je weg van alles waar Joden niet werden toegelaten - maar de dreiging van 'Arbeidsdienst' en 'Arbeitseinsatz' overkwam de drempel; alles was immers maar tijdelijk dachten we.

De meesten van dertig eerstejaars chemici in Amsterdam hadden andere voorkeuren in de chemie dan ik. Weg was het samenvattende theoretische inzicht van Van Arkel - je mocht zijn naam op tentamen bij Büchner niet noemen werd gezegd - en de organische chemie was een mer à boire waar alleen de structuurbewijzen leuk waren. Optica kwam van de fysicus Gorter.

Het college van Gorter had een achteraf interessante connotatie. In 1941 vertelde hij en passant op zoek te zijn naar een hyperfijnstructuur in de kernspin die in het toen nauwelijks toegankelijke kortegolf-radiogebied moest zitten en van de afscherming door de elektronenschillen afkomstig was. Dat zou iets over de chemische binding kunnen zeggen. In 1945 vertelde hij me op tentamen dat het mislukt was: zijn instrumentmaker was in militaire dienst geroepen en later tewerkgesteld. In 1945 ontdekten Bloch en Purcell het effect, met een Nobelprijs als resultaat. Het is een van de voorbeelden van de stelling dat een ontdekking een paar dingen nodig heeft:

1. inzicht, leidend tot een werkhypothese;

2. *middelen ter verificatie;*
3. *duidelijke kondgeving aan een wetenschappelijk milieu;*
4. *geluk.*

De studie werd onderbroken door de tekenkwesitie. Voor de jonge lezers in het kort: Het ontslag van de Joodse hoogleraren in 1941 had geleid tot een staking in Leiden en de afkondiging hiervan in andere steden. Leiden werd gesloten en andere universiteiten kondigden haastig een vervroegde kerstvakantie af. Dat desorganiseerde de studentengemeenschap, de andere universiteiten en de TH gingen weer open maar de studenten voelden zich gegrepen en bereidde een reactie op de eerstvolgende stap van Duitse gelijkschakeling voor. Dat was de eind '42 afgekondigde eis dat de studenten een verklaring van 'niet-verzet' tegen de Duitse overheid moesten tekenen op straffe van deportatie, bij onvindbaarheid deportatie van hun ouders. Er waren vier typen reacties:

1. ik teken want ik vind dat juist (NSB-ers);
 2. ik teken want de Duitsers breken alle beloften dus ik voel mij gerechtigd dat ook te doen;
 3. ik teken niet en neem de gevolgen;
- met de aantekening dat in geval 3. de ouders al of niet de gevolgen voor henzelf wilden dragen.

Dat betekende de inmiddels opgezette organisatie mobiliseren en aan de deuren de discussie over 1, 2, 3 soms met de ouders 3a of 3b aangaan. Ik had de Natuurfilosofische Faculteit in Amsterdam-West voor mijn rekening, ontsnapte bij aanhouding door de Grüne Polizei op de Overtoom des avonds met de complete ledenlijst voor de organisatie op de bagagedrager en besloot na gunstige afloop dat ik te dom was voor dit werk. 85% tekende niet, velen werden gedeporteerd, anderen doken onder. Ik deed dit in Friesland en leerde het boerenwerk. Bij de bevrijding stierven wij niet voor het Vaderland omdat de leiding van het verzet de wapens van de verzetsgroep had ingenomen om te voorkomen dat we het lot van de groep in Gorredijk zouden delen. Na een vermoeiende diensttijd als kampbewaker greep ik de eerste gelegenheid om terug te gaan naar Amsterdam om de studie weer op te vatten.

De universiteit was in 1945 Nederlands best gezuiverde instelling. 'Tekenaars' werden geschorst, hoogleraren die tot tekenen hadden geadviseerd ook. NSB-ers en dergelijke werden uitgesloten. Velen hadden er na de deportatie geen zin in of geen mogelijkheid om te studeren. Van de 60 chemie studenten uit de jaren '41 en '42 begonnen er 12 opnieuw in '45. Practica en colleges kwamen snel op gang met de gecumuleerde drukte van de jaren '43-'44.

Mijn interesse lag bij de mechanismen achter de verschijnselen eerder dan de eigenschappen der materie zelf. Mijn eerste practicumverslag in 1941 had een bijlage over de oorzaken van de kleurverschuiving van fenolftaleïne, hetgeen geen creditpoints opleverde, hoogstens verbazing bij het assistentencorps. Spittend in oorzaak en gevolg

kom je bij wijsbegeerte uit en na het kandidaatsexamen vatte ik de studie wijsbegeerte op naast de chemie. Alle colleges werden gevolgd en de zonder α -diploma toegankelijke tentamens bij Beth en Clay afgelegd. Hoogtepunt was het privatissimum Algemene Wijsbegeerte van Pos, dieptepunt de colleges Existentialisme.

De scheikunde-hoofdvakstudie werd geheel aan spectroscopie gewijd. Eerst UV spectra; die werden fotografisch bepaald, met voor elke meetgolflengte een zwartingscurve voor de extinctiemeting. Geen wonder dat, toen een Beckman DU2 arriveerde, drie maanden werk in één dag werden overgedaan. Afstudeerwerk bij Ketelaar was infraroodspectrometrie: cis-trans isomerie van dubbele koolstofbindingen. Dat ging naadloos over in een betrekking bij Unilever Research Zwijndrecht-Vlaardingen (URL).

In Nederland had La Lau bij Shell Research na een promotie op Ramanspectroscopie de infraroodspectroscopie opgezet; de grote rol die deze had gespeeld in het onderscheiden van de isomere koolwaterstoffen in de destillatiefracties van benzine had de mogelijkheden van structuurbepaling, identificatie en kwantificatie in de schijnwerpers gezet.

Industriële research

Bij Unilever was de analyse van cis-trans isomeren maar een opstapje naar identificatie van milligramhoeveelheden natuurstoffen. Kwantificatie ging voor niet-isomeren beter met vloeistofchromatografie en de rondedans van extraheren, scheiden, isoleren en structuur bepalen was goed voor een paar spannende jaren. De beroepsethos van de organici eiste dat elke structuur bevestigd moest worden door synthese, derivatisering en mengsmeltpunt, want de spectroscopische structuurbepaling was in hun ogen geen structuurbewijs. Soms was dat terecht, maar anderzijds leverde ook de synthese soms iets anders op dan verwacht en de ontzenuwing door het IR spectrum leverde dan geanimeerde en principiële discussies op. Mijn elegantste werkstuk acht ik nog steeds de structuuropheldering uit UV en IR spectrum van het 2,3-dimethyl α - β , γ - δ onverzadigd gamma C₉ lacton.

Ik vervolg even, buiten de chronologie om de 'Werdegang' van de infraroodspectroscopie. Dankzij de researchlaboratoria van de 'internationale' die toegang hadden tot de ontwikkelingen in de VS en Engeland werd Nederland toegangspoort van Europa voor moderne analysemethoden. Rond 1955 stonden er in Nederland meer infraroodspectrometers dan op de rest van het continent. De eerste generatie infraroodspecialisten bedreef vergelijkend structuuronderzoek met behulp van modelstoffen, gebruik makend van subtiele (circa 2 cm⁻¹) bandverschuivingen, een traditie die werd voortgezet waar hij wortel had geschoten: in Utrecht werd de standaard door Van der Maas tot op de huidige dag gehandhaafd met zowel onderzoek als een internationaal vermaarde jaarlijkse cursus.

Inmiddels was echter voor controle op syntheses en voor identificatiewerk een veelheid van spectrometertjes in handen van organici gekomen die zich aan calibratie niets gelegen lieten liggen en de literatuur vervuilden met onnauwkeurige bandposities. Daarmee

vervaagden de structuur-spectrum correlaties zodat bijvoorbeeld in stede van een precieze structuur rond een C=O of C=C groep alleen de aanwezigheid van de functionele groep als zodanig kan worden vastgesteld (fig. 2). In Engeland en de VS ontwikkelde de 'state of the art' IR spectroscopie zich verder zodat Nederland anno 1993 een analysemethode is kwijtgeraakt. Er is ook een bijgekomen: Nabij Infrarood Spectroscopie, gebruikmakend van de CH-banden in het boventoongebied, waarvan de correlaties empirisch bepaald worden. Wetenschappers waren aanvankelijk geschokt door toepassingen waar de correlatie er niet een was tussen spectrum en moleculaire samenstelling maar spectrum en 'kwaliteit' of 'voedingswaarde' van een landbouwproduct. Onze onrust wordt nu gelenigd door het geven van cursussen over bestaande structuurcorrelaties maar inmiddels is bij de industriële en vooral de landbouw de 'Near Infrared Spectroscopy' (NIRS) bij de productiecontrole vergaand ingeburgerd.

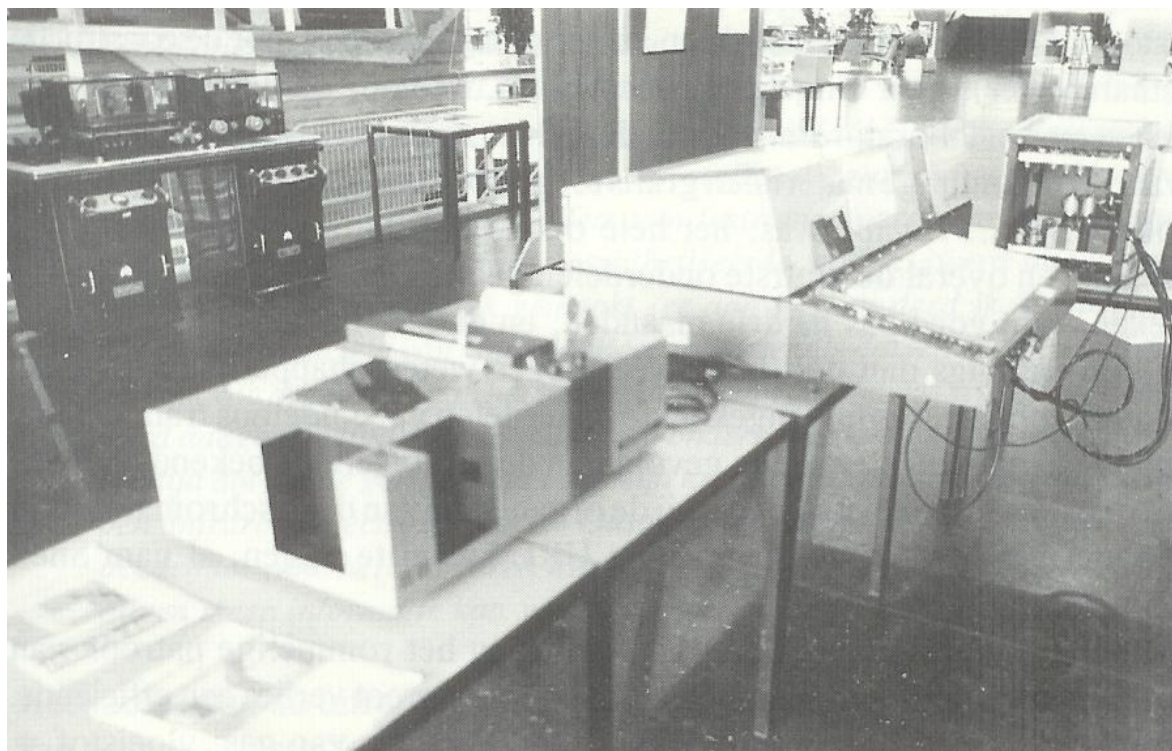


Fig. 2. Drie infraroodspectrometers uit de collectie van de KNCV: links achteraan een Grubb Parsons uit 1946, rechts een Beckman DK2 uit 1954 en linksvoor een Hilger routineapparaat (1958).

De ramanspectroscopie was de eeuwige belofte maar maakte die ondanks laserlicht en computers maar moeizaam waar. 60 jaar na de ontdekking heeft zij zich toch een positie naast Infrarood verworven.

In de loop van het aroma-onderzoek bij Unilever Research had ik bij herhaling, als er problemen rezen bij de scheiding van fracties, à la Cato mijn 'ceterum censeo' laten vallen: verder vind ik dat we dit beter met gaschromatografie kunnen doen'. Die overtuiging was mij bijgebracht tijdens een ontmoeting op aanraden van Boldingh met A.J.P. Martin, die in 1942 de methode had aanbevolen en in 1952 geïrriteerd op het analytische congres in Oxford rondliep omdat hij het zelf had moeten ontwikkelen. In 1953 kreeg ik na mijn zoveelste 'ceterum censeo' lik op stuk van Boldingh: 'Wil dit zin hebben dan hebben we het over twee weken nodig. Zolang krijg je voorrang voor alles wat je nodig hebt'. Nodig was een apparaat dat tot 200°C bruikbaar was in plaats van de heersende grens 120°C. De grens was triviaal: aansluitingen, met name in de detector, waren gesoldeerd, en er moest enige materiaalkennis en inventiviteit worden gemobiliseerd om bijvoorbeeld elektrische doorvoeren, fosforbronzen veren en strak gespannen platinadraden voor de katharometer te combineren. Ik reisde naar Amsterdam (Shell, Mekka van de gaschromatografie in Nederland met al een jaar ervaring), Geleen (voor de constructie van de katharometer), naar Engeland voor Martin, en voor de wheatstonebrug, drie fabrieken en een laboratorium voor onderdelen, zoals het Negretti en Zambra ventiel, waarbij ik sommige materialen gratis toegestopt kreeg omdat een bestelling te lang zou nemen). Principe was: het hele ontwerp minutieus nalopen op wat er mis kan gaan en overal de duurste onderdelen gebruiken. Het apparaat werkte na drie weken, ècht goed pas na drie maanden, en de publikatie [1] bracht meer bezoekers bij ons langs dan ooit later, véél hoger wetenschappelijke artikelen. Maar een latere kopie met vakkundig ingekochte onderdelen gaf eindeloos trammelant, met corrosie, lekkages etcetera. Een gevolg van deze plotselinge bekendheid was het ontstaan van hechte contacten, waarbij de organisatie van de gaschromatografie conferentie van 1958 in Amsterdam bij het URL kwam te liggen, al nam Shell er later een groot aandeel in.

Ik had al lang de overtuiging dat de gasstroming in het rommelige patroon van een gepakte kolom verantwoordelijk moest zijn voor een groot verlies aan efficiëntie. Uitgaande van de verhouding van de diffusiecoëfficiënten van gas : vloeistof = 1000:1 en de simpele overweging dat de toestand er bepaald niet op verbetert als de gasstroom snel voorbijtrekt terwijl de opgeloste fractie zich verliest in een te dikke coating kwam ik tot de volgende dimensies voor een rechte capillair: 1 mm diameter, coating 1µm dik, lineaire gassnelheid even groot als de diffusiesnelheid over de doorsnede, schotelgetal lengte gedeeld door diameter. Wat?! Vijftig meter geeft 50.000 schotels, terwijl we met gepakte kolommen met moeite 400 halen! Wat er gebeurde is elders beschreven [2]; één correctie op een beleefd leugentje is nodig: we wisten dat de snelheid cm/sec moest zijn, maar de zeer ervaren medewerker die het apparaat runde kon dit niet over zich verkrijgen. Als secretaris van de conferentie kon ik pas de dag er na achter de knoppen gaan zitten en 5000 seconden (nou ja 2000!) wachten op een piek. De parameters van de drie kolommen die we vóór die eerste publikatie hadden doen het nog altijd goed: 50-120 m. lang, 1 tot 0,3 mm diameter. Wat ook beklijfde was onze dynamische coating. Maar hoed af voor Golay, die er geen praktisch nut in zag maar op onnavolgbare wijze de theorie gaf [3].

Externe contacten Industriële Research

De houding van industriële researchinstellingen tegenover wetenschappelijke contacten is ambivalent. Uitwisseling van nieuwtjes over nieuwe werkmethode en inzichten houdt wetenschappers alert en houdt het moreel hoog. Anderzijds is er het risico van uitlekken van eigen werk. Een attente collega kan meer afleiden uit losse gegevens dan u geneigd bent aan te nemen. Ik herinner mij dat de samenvoeging van de 'computer data banks' van de spectra van ICI en Unilever ons een verrassend kijkje in de researchkeuken van ICI gaf; een leuk spelletje overigens waarvan bij mijn weten geen misbruik is gemaakt. Publikaties zijn nodig voor de reputatie van de eigen research maar mogen niets 'weggeven'; meestal ziet de patentafdeling er wel op toe. In het geval van mijn dissertatie, geheel ontstaan in mijn tijd bij Unilever Research Laboratorium, werd ik teruggefloten: geen spectra van stoffen die zich in het pand bevonden. Afgezien van meting van het effect van instrumentparameters op de spectra met behulp van twee speciaal gesynthetiseerde stoffen, werd uitsluitend van literatuurgegevens gebruik gemaakt (er aan werken deed ik 's nachts).

Het publicatiebeleid van Unilever Research evenals dat ten aanzien van andere vormen van deelnemen aan het wetenschappelijk bedrijf was vrijzinnig. Publiceren werd aangemoedigd. Uitwisseling van onderzoekmethoden was vrij, en er was een tijd dat wij de gelegenheid en de tijd kregen wetenschappelijke discussiegroepen Infraroodspectroscopie en Gaschromatografie te organiseren waar de academici van Shell Research niet aan deel mochten nemen 'omdat Shell daar alleen meer informatie kan verschaffen en niets terugkrijgen'.

Het succes van de infrarood- en ultravioletspectroscopie bij de structuurbevestiging van organische stoffen, ook wanneer daar slechts milligramhoeveelheden van ter beschikking stonden maakte dat je alert was op 'exploiteerbare' fysische verschijnselen. Het verhaal van Gorter over de hyperfijnstructuur van de kernspin was me bijgebleven, en toen in Cambridge een lezing over dit inmiddels door Bloch en Purcell aangetoonde (Nobelprijs 1952) en als 'nuclear magnetic resonance' benoemde effect werd gehouden waagde ik er een dagbegrip aan. Phillips (Oxford) toonde chemical shifts van protonen van alcohol, benzeen en water (de enige tot dan toe opgenomen spectra). Ik kwam terug bij Boldingh met de mededeling dat er niets was gepresenteerd dat niet beter met een infraroodspectrometer met calciumfluorideprisma kan worden bepaald maar dat de fysische basis van het verschijnsel zo anders was dan de molecuulvibraties die ten grondslag liggen aan het IR dat er complementaire informatie uit zou komen. Ook moest het mogelijk zijn de vast/vloeibaar verhouding van vetten 'einwandfrei' te bepalen. Op die grondslag kreeg ik toestemming de methode te ontwikkelen. Er bestond geen enkel commercieel apparaat en omdat er toch al behoefte was op het URL aan een elektronische werkplaats besloten we te doen wat scheepsbouwer Verolme in die dagen deed met

scheepswerf en schip: beide tegelijk opbouwen. Ir. Keuning werd aangetrokken als de fysicus van het project. De begroting was f 30.000,-- en verder hadden we advies van CSG Phillips en een mengsel van fantasie en nuchterheid. Besloten werd tot een magneetveld van 7.500 gauss, om de protonresonantie op 30 MHz te houden, dan kon je voor de detectie een goede communicatieontvanger gebruiken. Het magneetveld kan opgewekt worden met Hemholtzspoelen met waterkoeling (f 30.000 aan koper nodig), idem met supergeleidende spoelen (He prohibitief duur), een elektromagneet (vereist een hoogstandje aan stroomstabilisatie). Besloten werd tot een permanente magneet (7.500 gauss was de grens), te construeren door Philips.

Keuning en zijn assistent Van der Vijver overwonnen alle moeilijkheden, bij Philips glipte de magneet uit de takels en sloeg door de vloer van de instrumentmakerij, zodat er een nieuwe moest komen, maar alles bij elkaar was het apparaat in redelijke tijd klaar, evenals de elektronikawerkplaats. Zoals bekend deed inmiddels Varian ook iets, en de race met Shell, die een Varian A40 had besteld was nek-aan-nek: het eerste hoge-resolutie NMR-spectrum in Nederland werd in Vlaardingse opgenomen op de dag dat de magneet van de A40 bij Shell binnen werd getakeld. Eén kritische kanttekening: een zelfgebouwd geavanceerd instrument heeft vier concurrerende gebruikersgroepen: de bouwers, die signaal-ruis verhoudingen willen verbeteren; de fysicus die bijvoorbeeld spin-echo's wil meten; de fabrieken die vast-vloeistof verhoudingen willen gemeten hebben; de chemici, die spectra, vooral nieuwe, publiceerbare willen meten. NMR kwam in het URL pas echt goed in gebruik met de eerste Varian A60, maar iedereen wist toen al wel van wanten.

Natuurlijk waren er analysetechnieken die we na onderzoek verwierpen. Microgolf-spectroscopie bijvoorbeeld, gevoelig als identificatiemethode, maar voor grote moleculen niet aantrekkelijk.

Organische massaspectrometrie

Een volgende spectroscopische methode die op het URL werd opgezet was allerm minst de eerste in zijn soort in Nederland maar vertoonde wel trekken, die wijde verbreiding vonden. Massaspectrometrie vormde een belangrijk onderdeel van het programma van het FOM-Laboratorium in Amsterdam, dat zich onder leiding van Kistemaker ontplooid tot het Laboratorium voor Atoom- en Molecuulfysica. De klassieke isotopen-massaspectroscopie en massaspectroscopische isotopenscheiding vonden er plaats, en Boerboom en Tasman hadden een internationale reputatie op het gebied van de ionenoptiek: Boerboom speelde in de jaren tachtig een grote rol in de invoering van de 'Array Detector' waarmee een ionengebied simultaan wordt geregistreerd door een rij mini-detectorstrips. Kistemaker en Barendregt hadden in 1953 een rapport opgesteld over de 'mogelijkheden die een massaspectrometer met hoog oplossend vermogen opent voor het onderzoek naar de structuur van organische moleculen en het belang hiervan voor een gecombineerd fysisch-biochemisch onderzoek naar enkele fundamentele oorzaken voor het ontstaan van kanker' (hoog oplossend vermogen betekende 1: 2000).

De massaspectrometrie van organische moleculen, hoewel principieel al onderkend door

J.J. Thomson in 1908, maakte een spectaculaire start in de oorlogsjaren, vooral in de USA, met de analyse van koolwaterstofmengsels, die leidde tot de identificatie van de componenten die de benzines een hoog octaangetal verschaffen: meer dan men zich realiseert is de opvoering van het vermogen van vliegtuigmotoren van circa 850 naar 2200 PK tussen '39 en '45 hieraan te danken.

De correlaties tussen structuur en spectrum waren empirisch; (tot op de dag van vandaag zijn de ionstructuren van koolwaterstoffen een harde noot om te kraken) maar bij vergaande standaardisatie waren de analyses kwantitatief nauwkeurig. Kistemaker gaf aan dat ook zuurstofhoudende verbindingen gemeten konden worden en suggereerde voor macromoleculen een voorafgaande pyrolysestap: dit onderzoek werd in de jaren '60-'70 op het FOM Laboratorium door onder andere Boerboom en Posthumus ontwikkeld.

Een tweede lijn bij de opkomst van de spectrometrie in Nederland was de link naar Shell Houston met Shell Amsterdam. Daar stond inmiddels in 1951 een Consolidated 103 massaspectrometer waarmee koolwaterstoffen werden onderzocht onder leiding van La Lau, met voor mengsels tot 17 isomeren een Ferranti Mercury computer. De derde lijn duiden we gemakshalve als 'ionchemie' aan, een naam die we er in 1976 voor bedachten en die is ingeburgerd. Het is mogelijk dat een suggestie om eens naar massaspectrometrie te kijken op het URL gevallen is; merkwaardigerwijze heb ik het rapport Kistemaker van 29 september 1953 niet vóór 1992 gezien, zeker niet toen ik met een ontwerp voor een verhit inlaatsysteem met directe inlaat (in verband met de lage dampdrukken van niet-koolwaterstoffen) een specificatie van een massaspectrometer met een oplossend vermogen van 800 (molgewicht van een triglyceride en ruim boven het oplossend vermogen van enig bestaande MS), en elektron multiplieer detectie (ondanks de waarschuwing van kwantitatieve onbetrouwbaarheid) naar de directie van het URL stapte. Ik kreeg toestemming voor een verkenning (Shell, FOM en Staatsmijnen) en mocht mij, met machtiging voor een bestelling, wenden tot de fabriek van Metropolitan Vickers in Manchester. Daar geloofde men niet meer in organische massaspectrometrie, omdat kwantitatieve analyses, waar de methode voor werd toegepast volslagen waren overgenomen door de gaschromatografie. Toch vond ik gehoor: een zekere Beynon van ICI had ook zoiets besteld, maar met hoger oplossend vermogen. De MS2H arriveerde ruim twee jaar later, maar voordien waren de MS2's van British Petroleum Sunbury en Shell Amsterdam al geconverteerd tot MS2H's hetgeen ons de bekende periode van schoten-voor-open-doel-artikeltjes als je een nieuw type instrument hebt ontnam. Consolidated miste deze bus (ondanks het op de markt brengen van de 103C), Metrovick, later AEI veroverde een markt. AEI zag in mij een profet, een illusie die ruw werd verstoord nadat ik ze tegen de directe koppeling van gaschromatograaf en massaspectrometer had geadviseerd wegens de discrepantie van drukken. De indirecte koppeling via condensatie sloeg niet aan, en Atlas-Bremen veroverde die belangrijke markt.

Ik kom later nog terug op de massaspectrometrie, maar één anecdotisch feit verdient vermelding. De Nederlandse scheiding der geesten enerzijds FOM met nadruk op fysica, anderzijds de ionchemici, bestaat nog steeds zonder animositeit. In 1967 werden twee tijdschriften op dezelfde dag opgericht: *J. of Mass Spectrometry and Ion Physics*

(Elsevier) en *Organic Mass Spectrometry* (Heyden), waarin respectievelijk Boerboom en schrijver dezes als eersten redacteurschap aanvaardden. Heyden's wens om een massaspectrometrie-tijdschrift op te richten was al jaren geblokkeerd door de afkeer van het Britse wetenschappelijke establishment van specialistische tijdschriften. Ook infrarood en chromatografie waren eerst 'dakloos' in Europa. Heyden had echter gestipuleerd dat als een andere uitgever er mee kwam hij mocht responderen.

Dat geschiedde op de MS conferentie in Berlijn. Het aantal tijdschriften is inmiddels verveelvoudigd; ze gaan de draagkracht van de bibliotheken dan ook te boven.

Analytische chemie in Utrecht

In 1962 kreeg ik de uitnodiging om een nieuwe leerstoel 'Spectrometrische Analyse' aan de Rijksuniversiteit Utrecht te bezetten, waar het Analytisch Chemisch Laboratorium (ACL) drie jaar eerder in gebruik was gesteld. Het was gebouwd onder leiding van Smittenberg (fig. 3) en was op zijn top precies groot genoeg voor de 144 eerstejaars scheikunde plus de anderen die er hun eerste titraties moesten leren, en had daarnaast researchruimten die met verbluffend gemak tot 1991 alles konden opvangen wat er nodig was in de analytische chemie. Smittenberg had zelf de fysisch-chemische analysemethoden - elektrochemie (Sluyters), chromatografie (De Ligny) naast de klassieke analyse een plaats gegeven, en had een begin gemaakt met de fysische methoden: emissie- en infraroodspectroscopie, radiochemie. Zolang het werken ons vergund was hebben wij in harmonie samengewerkt. Dat begon met een beleidsplan dat in de jaren '60 en '70 werd uitgevoerd. In grote lijnen luidde het als volgt.

1. De analytische chemie maakt gebruik van uiteenlopende chemische en fysische verschijnselen met één doel: bepaling van samenstelling en structuur van stoffen. Research kan slechts op enkele gebieden worden gericht.
2. De afgestudeerde analytisch-chemicus moet vertrouwd zijn met chemische methoden, scheidingen en spectroscopie. Willen onderwijs en onderzoek samengaan dan moet op elk dezer gebieden in minstens één methode onderzoek worden gedaan. Iedere afgestudeerde moet 'hands-on' ervaring hebben met één methode uit elk der drie richtingen.
3. Het oplossen van een analyseprobleem eist informatie die op de meest efficiënte wijze wordt verkregen. De fundamentele theorie van de informatie moet worden ontwikkeld in de richting van deze problematiek.
4. Van de nieuwe analysemethoden is er slechts één (NMR) min of meer universitair van oorsprong. Oorzaak is dat de universiteit vaak zich werpt op de wetenschappelijke verdieping van een elders als antwoord op een praktisch probleem ontwikkelde meetmethodiek. Laat dus ook aan de universiteit praktijkvragen op je afkomen en wacht op inspiratie.

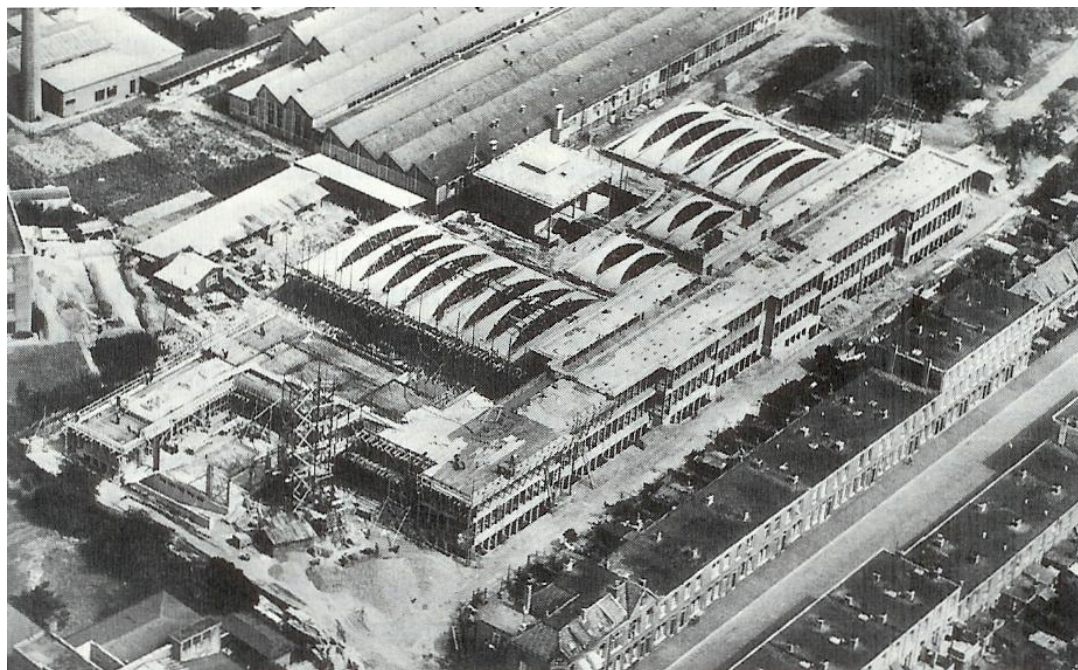


Fig. 3. Het Analytisch Chemisch Laboratorium van de Rijksuniversiteit Utrecht in aanbouw in 1958. In de architectuur van die dagen zijn de vier practicumzalen links en de research-‘basis’ rechts goed te herkennen. ‘Onderwijs’ (vooraan) is nog in aanbouw.

Dat laatste punt viel goed bij universitaire bestuurders die meer, en slecht bij collega’s die geen maatschappelijke betrokkenheid respectievelijk samenwerking nastreefden. Zelfs mijn vragen naar andermans problemen wekte soms min of meer bedekt de reactie: ‘hij weet niet wat hij moet doen’ maar anderzijds kwamen goede samenwerkingsverbanden tot stand, bijvoorbeeld met de geochemie (Nieuwenkamp), die zelfs na jaren een samen compleet opgebouwd complex analysefaciliteiten overnam.

De uitvoering van het beleidsplan nam een zestal jaren in beslag. Smittenberg was directeur van het ACL en leidde de afdelingen elektrochemie (lector Sluyters) die zich concentreerde op de elektrode processen aan de vallende kwikdruppel; de concentrering op de theorie, met geringe interactie met de praktijk leidde uiteindelijk tot aansluiting bij de vakgroep Fysische Chemie. Daarnaast werd er echter door Agterdenbos en Griepink chemische en elektrochemische (micro) analysemethoden ontwikkeld; met name in de jaren zeventig werd een modulair analysesysteem opgebouwd met timing en sturing door schakelwalsen, later door computers. De industriële toepassing werd echter voorbijgestreefd door de laboratorium automatisering van de jaren tachtig.

In de scheidingsmethoden (lector De Ligny) was het onderzoek gericht op thermodynamische aspecten van de vloeistof-damp evenwichten in chromatografie kolommen, waarnaast een uit de medische sector aangereikt vraagstuk van de scheiding van europium complexen werd behandeld. De infraroodspectrometrie werd in een in Nederland afkalvend landschap de enige infrarood werkgroep (later Van der Maas) die

internationale reputatie verwierf met haar onderzoek op het gebied van OH-associatie, met de ontwikkeling van interpretatiemethoden en met geavanceerde onderwijs methoden. Verder gebeurde er iets dat volgens de critici van het universitaire bestel nooit gebeurde: een goed draaiende research (emissiespectroscopie) werd stopgezet en vervangen door een wetenschappelijk meer belovende: massaspectrometrie. Gestart werd een onderzoek aan praktische analyseproblemen: stikstofverbindingen werden gevolgd door sequentie-analyse van peptiden en microanalyse van metalen in de vorm van organische complexen. Dit analytisch-dienstverlenende onderzoek vormt van 1968 af een vaste kern van het massaspectrometrische werk in Utrecht onder leiding van Heerma. Het vormde de voeding van het onderwijs in alle stadia tot de nascholing in MS toe. Het leverde onderzoekgebieden die de basis vormden van dissertaties. Het leverde ook een pijnlijk mislukt project en een zeer succesvolle ontwikkeling op, en uit het oogpunt van wetenschapsbeleid is het interessant op beide in te gaan. Het spanningsveld tussen gewenste ondersteuning van wetenschappelijk onderzoek buiten de eigen groep en het eigen fundamentele onderzoek is in elke analytische onderzoeksgroep aanwezig. Specialistische kennis en hoge investeringen in MS, IR, NMR, Röntgenanalyse en -spectroscopie zijn waardevol voor toegepast onderzoek alom. Voor de analytische onderzoeker is ongestoord spitten in het specialisme het meest rendabel (al is het idee dat het ook het leukste is wellicht een modieuze pretentie). De onderzoekers die meestal tijdelijk behoefte hebben aan de resultaten van analyse op hoog niveau willen de resultaten van de vandaag opgeleverde minstens gister hebben. Zelf een apparaat kopen (in medische kringen gebruikelijk) is geen oplossing. Een illustratie van dat dilemma kwamen we bij de schets van de ontwikkeling van NMR al tegen, inclusief een redelijke oplossing. Met de MS deed zich in 1968 een gelegenheid voor om een centrale dienstverlening voor de Nederlandse universiteiten op te zetten waarbij de afstand geen beletsel hoefde te vormen door vergaande computerisering van het interpretatiewerk. Het wonder-concept was de 'element map' de massa's van alle fragmenten in een spectrum door nauwkeurige massameting eenduidig omgezet in hun elementenformule, waarmee de klant de identificatie of zelfs de structurbepaling zelf kan uitvoeren. Een speciale SON-commissie zag er wat in en we kregen 500 kfl voor de Ferranti computer. De programma's werden gemaakt, de 'element maps' geproduceerd, maar de klanten bleven weg, ondanks voorlichtende bezoeken, lezingen, tijdschriftartikelen. Het postorderbedrijf van analyses is voor de wetenschapper niet aantrekkelijk. De benadering van Kaptein in Groningen voor de NMR-service was daarentegen succesvol: een logeerkamer voor de bringer van het monster en direct contact voor de interpretatie. 'This was the bad news. Now the good news'.

Massaspectrometrie is het stukschieten van het ion van de te onderzoeken stof, het analyseren van de fragmenten en de fragmenten van de fragmenten, en daaruit de oorspronkelijke structuur afleiden. Men kan dit als een legpuzzel beschouwen en verzinnen welk fragment zal zijn ontstaan, maar dat wordt een zinloos gekift over afbraakreacties van ionen. Toen in de jaren zeventig de methode van de 'metastable peaks' het mogelijk had gemaakt de moeder-kind reacties vast te stellen had de redactie

dit verplicht gesteld voor in OMS te publiceren reactieschema's. De meerderheid van de oude schema's bleek trouwens fout: ionen zijn geen moleculen-met-een-lading en vertonen andere reacties dan de organici plausibel had geacht. Dit betekent dat de hele chemie van ionen een andere is dan die van moleculen. Het lijkt nu triviaal, maar ik kreeg in een massaspectrometrieconferentie in Stockholm de hele zaal over me heen toen ik de theorie van Lennard-Jones aanviel, die stelde dat een ion een molecule was waaruit het elektron uit de hoogste (dus minst gelocaliseerde) orbital was verwijderd, zodat de structuur dezelfde bleef, al waren er nu ladingsdeficiënties op de plaatsen waar die orbital het zwaarst bezet was. Mijn concept van een gelocaliseerde lading was ketterij en het door De Ridder in 1969 geleverde bewijs werd met ongeloof bekeken. Als ionen hun eigen reacties en structuren vertonen hebben die een eigen chemie. De term ionchemie 'ion chemistry' was geboren, en onder dit vaandel werd een apparaat met omgekeerde geometrie (ontwerp: Beynon) aangevraagd.

De aanvraag werd door de wetenschapscommissie van dat jaar afgewezen. Bij navraag bleek dat gebeurd te zijn omdat de aanvraag de passage bevatte dat de ontwikkeling van de ionchemie in een geschatte tien jaar zou kunnen leiden tot theoretisch gefundeerde interpretatie van massaspectra. Dat betekende dat bij de voorsortering het project op de stapel 'toegepast' was gekomen een stapel die als vanzelfsprekend minder wetenschappelijk terzijde was gelegd. Het weglaten van de passage en enig lobbyen leidden een jaar later tot de aanschaffing van een VG-ZAB (toch nog productiecijfer 1), de bepaling van ionstructuren, twee 'Euchem conferences' over 'ion chemistry' die de naam van het vak, en van de Utrechtse groep vestigden. Er ontstond een nauwe samenwerking met de groep van Holmes in Ottawa. Leukste ontdekking was die van de ion-dipoolcomplexen, zoals $\text{H}_2\text{O}-\text{C}_2\text{H}_4^+$ (het derde isomeer van $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}^+$) die in hele reeksen voorkomen. Ze waren overigens net daarvoor theoretisch voorspeld in ab initio berekeningen van Radom (Canberra). Inmiddels was de Amsterdamse groep van Nibbering de grootste groep op het gebied van de fundamentele massaspectrometrie geworden dankzij voortreffelijk onderzoek aan ion-cyclotronresonantie. Zij stond ook in het financiële SON netje en de Utrechtse ionchemie bloeit na mijn emeritaat, in Ontario verder.

De fundamentele theorie van de analyse is de theorie van de informatie. Van 1963 gaf ik in Utrecht daarom doctoraal colleges informatietheorie rond vragen als: hoeveel informatie bevat een meting gegeven een bepaalde signaal/ruisverhouding? Hoe groot is de zekerheid van identificatie uit een smeltpunt? En uit een elementairanalyse (dissertatie Griepink 1971). De theorieën werden met een sprong vooruit gebracht door een in 1965 in Exeter door Hobbs en Smith gehouden lezing over emissiespectrografische analyse met definitie van zekerheidsgrenzen. Kaiser (Institut für Angewandte Spektroskopie, Dortmund) en ik leverden commentaar, een gesprek dat werd voortgezet in de trein van Exeter naar Londen. Kaiser hoorde voor het eerst van informatietheorie en hij legde het verband met de statistische foutentheorie, die al sedert 1930 in de analyse was toegepast (onder andere door Van Tongeren en Agterdenbos). Het enthousiasme van Kaiser gaf een geweldige 'push' aan de ontwikkeling van wat chemometrie ging heten. A. Dijkstra nam

dit werk over na zijn benoeming als opvolger van Smittenberg. Helaas verzwakten persoonlijke problemen en zijn vertrek als gevolg daarvan de positie van de Utrechtse groep in de chemometrie. De Ruig [4] (RIKILT Wageningen) ontwikkelde recentelijk een geheel eigen methodiek voor het vergelijken van betrouwbaarheden van analyses, zelfs voor het moeilijke geval van analyseketens met verschillende methodieken; de EEG is er blij mee. Nederland neemt met Kateman en Vandeginste voorop, een belangrijke plaats in de chemometrie in.

Een te vroeg geboren project

Zoals gezegd was een doelstelling van ons beleid ook het waarnemen van problemen en het wachten op inspiratie. Het moment om onderzoek te doen in de richting van een radicaal nieuwe meetmethode kwam in 1964. De Tweede Internationale Conferentie over lasers in Parijs was vol van de uitvinding van de gaslaser door Maiman. Het inherent gepolariseerde karakter van het licht, de coherentie en de mogelijkheid van optische versterking smolten in een contemplatief moment à Kekulé samen tot het volgende concept: Als je laserlicht in een ring laat rondlopen via totale reflectieprisma's treedt continu zelfversterking op. Als je een optisch draaiend element in de ring opneemt wordt het polarisatievlak 'rondgeschroefd' bij elke rondgang. Tap 2% van het licht af, registreer achter een polarisator de flikkerfrequentie van de roterende bundel. Als het werkt is de gevoeligheid verbluffend, genoeg om in de flanken van de CH-rek frequentie in het infrarood de asymmetrie te meten aan atoomgroepen die als niet-optisch actief bekend staan door hun lage oscillatorsterkte. Het project werd (30% kans van slagen beloofd) aangevraagd bij SON. f 50.000 werd toegekend, door mij besteed aan het door Raterink bij TNO laten ontwikkelen van de ringlaser (Hij was de enige die dat kon). Mijn industriële ervaring bakte mij hierbij een poets, want SON was niet gewend ook manurenrekeningen te betalen, terwijl ik bij Unilever die in de kostenberekening opnam. TNO echter nam een deel van de kosten wegens de verwachtingen rond het project voor zijn rekening, zodat de ring, met de steun van de Delftse opticus Van Heel, klaarkwam. Alleen de cel voor de optisch actieve stof was niet klaar toen Van Heel overleed en de faciliteit wegviel. SON vond vijftig duizend gulden voor een instrument wel genoeg en stopte er mee. In 1973 kreeg ik de Natuurkundefaculteit mee voor een voortzetting. Helaas was er iets veranderd. De WUB was eind 1971 in werking getreden. De gelden voor onderzoek werden verdeeld door van jaar tot jaar gekozen raden, die naast hun zwalkende beleid slechts één criterium constant hielden: voor de waardering van onderzoek: aantal publikaties. Geen wetenschappelijk medewerker die zich aan een terrein wilde wagen waar hij niet al een lijstje achter zijn naam had. Niemand meer voor een avontuur. Ik beveel het project aan in de aandacht van de lezer (TNO hééft er een patent op).

Het beeld van het hier beschreven stuk geschiedenis van de chemie zou niet compleet zijn zonder vermelding van de invloed van de gebeurtenissen rond 1970 en het effect van de Wet Universitaire Bestuurhervorming (WUB).

In 1969 kwam, in navolging van de studenten revolte in Parijs in 1968, een studentenbeweging op gang die een maatschappelijke revolutie nastreefde en haar aanvallen eerst richtte op de universiteit. De Utrechtse variant van de Amsterdamse Maagdenhuisbezetting was een bezetting van het universiteitsgebouw na een beslissing, genomen tijdens een vergadering die pas na een oproep op het Nieuws van 23 uur een massavergadering werd; Leiders hielden de microfoons zorgvuldig in handen. Rosenberg (het latere lid van het College van Bestuur: 'kan niemand die vent de microfoon afnemen?'). Het ANP bleek trouwens corrupt: zo stond een vals bericht dat de hoogleraren in paniek de Domkerk uit gevlucht waren nadat een rookbom was afgestoken op de telex vóór het zelfs had kunnen gebeuren. De algemene achtergronden zijn door Henssen beschreven voor de Groningse universiteit en door Baudet voor Delft; specifieke gebeurtenissen in Utrecht hebben hier slechts anecdotische waarde.

Politiek schone wetenschap

Ik huldig de klassieke opvatting dat politiek en wetenschap twee orthogonale werelden moeten vormen. Dat wordt zeer bestreden door lieden die er van uitgaan dat een ideaal dat onbereikbaar is niet nagestreefd hoeft te worden. In een tot het einde uitgespeeld conflict over de opzettelijk onbekwaam (zonder blanco's) uitgevoerde metingen aan zware metalen in de Rijn bracht de stelling mij in een publiek debat voor een volle zaal en een bandapparaat ter exploitatie van uitglijders. De stelling bleef overeind en zal dat blijven, zolang de wetenschappers hun bedrijf schoon houden. Sommigen doen dat niet, met name waar politiek hoofdzaak is: het milieuvraagstuk.

De stelling heb ik ook in de praktijk waar gemaakt door namens de organisatoren te dreigen met overplaatsing van het gaschromatografiecongres in Amsterdam 1958 naar Londen als de Oost-Duitse deelnemers niet in Nederland werden toegelaten. Ik zou hetzelfde gedaan hebben voor Zuidafrikaanse wetenschappers, want voor hen waarde de geest van McCarthy ook hier rond; dit was uiteindelijk niet nodig.

Afgezien van het specifieke effect op de analytische chemie. De grote betrokkenheid bij het voor-kandidaatsonderwijs had van oudsher vast personeel nodig gemaakt. Dat betekende dat toen de WUB op 1 oktober 1971 in werking trad en toen de Vakgroepen waren ingesteld een vakgroepbestuur van 32 personen alle beslissingen moest nemen. Al spoedig werd het samenhangende beleid vervangen door behartiging van groepsbelangen die tot fragmentatie en politieke zwakte leidde. Wat in 1971 nog ondenkbaar leek, werd in

1991 bewaarheid; er kwam een einde aan de Utrechtse Analytische Chemie.

Ter afronding van mijn persoonlijke geschiedenis nog de maatschappelijke situaties waarin zich het voorgaande afspeelde. In de jaren zeventig veranderde de WUB drastisch de positie van hoogleraren. Waren zij voordien verantwoordelijk voor hun werkgroep - een verantwoordelijkheid waarbinnen geen beslissing werd genomen zonder consultatie van de betrokkenen - nadien waren alle beslissingen collectieve beslissingen van gekozen raden. Hoewel mij een zwevende functie boven de vakgroep werd aangeboden waren twee jaar vakgroep voorzitterschap voldoende om te verzoeken mij een wetenschappelijke werkgroep te geven. Mijn voorkeur was infrarood of chromatografie, maar massaspectrometrie kwam beter uit en die fasen van onderzoek heb ik beschreven.

Het beroep

De chemie als beroep heeft mij een interessant en zeer gevarieerd leven bezorgd. Door de steun van mijn vrouw en, mutatis mutandis, een reeks goede secretaresses min of meer in het organisatorische spoor gehouden kon ik mij op dat professionele leven concentreren. Mijn werkweek (geregeld gemeten) in de industriële research was 52 uur, bij de universiteit 56, beide niet ongewoon en ongeveer het maximum met een gezin thuis.

Het inkomen is, gerekend die uren, ongeveer modaal, al begint het pas bij 25 jaar. Dankbaar ben ik voor de vele toegewijde medewerkers en enthousiaste promovendi, 29 in getal, die ik niet noem omdat het feit dat ik dit stuk mocht schrijven dan anderen te kort zou doen.

In 1978 werd mij het directeurschap over het Centraal Laboratorium van Voorwerpen van Kunst en Wetenschap aangeboden. De toepassing van de natuurwetenschap op het terrein van de kunst bracht de opwindende ervaring om als chemicus nu eens niet met nuttige maar met mooie dingen bezig te zijn. Het ministerie van WVC maakte de laatste twee jaar voor mijn pensionering nog gebruik van mijn diensten voor het concentreren van de chemische laboratoria van het RIVM en het renoveren van de milieu-analyse-faciliteiten. Dat bracht me in de inflatoire wereld van de milieunormen, de maatschappelijke ramp van het 'het is gif dus het mag er niet inzitten' tegen het licht van de pijlsnel dalende detectie grenzen uit de analytische chemie.

Literatuur

1. G. Dijkstra, J.G. Keppler, J.A. Schols, *Rec. Trav. Chim.*, **74** (1955) 805
2. L.S. Ettre, A. Zilkatkiš, *75 Years of Chromatography, a historical dialogue*, Amsterdam-Oxford-New York, 1979
3. M.J.E. Golay in: *Gas Chromatography 1958* (Amsterdam Symposium), D.H. Desty, ed., London 1958, 139-143
4. W.G. de Ruig, B.W. Stephany, G. Dijkstra, *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, (1989), **72**, 487