

MACROMOLECULAIRE ARCHITECTUUR

Dr. W.J. Mijs

Mijs. Red. 1986.

233006g

9 JULI 1986

MACROMOLECULAIRE ARCHITECTUUR

Rede,

uitgesproken ter gelegenheid van de aanvaarding
van het ambt van buitengewoon hoogleraar in de
toegepaste polymeerchemie aan de Technische
Hogeschool te Delft op 5 juni 1986 door

Dr. W. J. Mijs



Mijs_
red_
1986



1. Historie. Het onderzoek naar de chemie is een van de oudste en meest belangrijke wetenschappen. Het is een wetenschap die zich heeft ontwikkeld uit de natuurlijke historie en de filosofie. Het is een wetenschap die zich heeft ontwikkeld uit de natuurlijke historie en de filosofie. Het is een wetenschap die zich heeft ontwikkeld uit de natuurlijke historie en de filosofie.

Mijne heren leden van het College van Bestuur,
dames en heren leden van de Hogeschoolraad,
mijnheer de Rector Magnificus.
mijne heren Dekanen,
dames en heren leden van deze Hogeschoolgemeenschap,
dames en heren Studenten,
en voorts U allen die door Uw aanwezigheid blijk geeft
van Uw belangstelling,
zeer gewaardeerde toehoorders:

1. Historie. Het groeiend structuurbegrip in de chemie.

Wanneer men grote fundamentele ontdekkingen na geruime tijd achteraf beschouwt, dan schijnen zij kinderlijk eenvoudig, het ei van Columbus. Dat komt natuurlijk, omdat de beschouwing geschiedt vanuit een beduidend hoger kennisniveau. Zo ging het mij als student in de scheikunde, toen ik het tetraedrische koolstofatoom van Van 't Hoff als basis voor de stereochemie leerde kennen.

Havinga, mijn leermeester in de organische chemie in Leiden, die ik thans niet zonder schroom mijn collega mag noemen, heeft het voorstel van van 't Hoff uit 1874 tot uitbreiding van de scheikundige structuurformules in de ruimte terecht één van de belangrijkste groeipunten van de natuurwetenschappen genoemd. De moleculaire structuurchemie en de stereochemie zijn van fundamenteel belang voor de organische chemie, de macromoleculaire chemie en de moleculaire biologie en voor gedeelten van de anorganische en fysische chemie. Het besef hiervan is vooral de laatste twintig jaar sterk gegroeid met ons kennisniveau in de genoemde gebieden van de chemie. En toch, de gedachte dat de vier valenties (de bindingen met andere atomen) van het koolstofatoom niet in het platte vlak, maar ruimtelijk geplaatst moesten worden is op zichzelf heel eenvoudig.

Soortgelijke gedachten komen op wanneer men de historie van de macromoleculaire wetenschap volgt. Aan het einde van de 19e eeuw (1871) vermoedden Hlasiwetz en Haberman dat natuurstoffen als eiwitten, rubber en zetmeel macromoleculen zouden zijn. In 1887 bood de Wet van Van 't Hoff (alweer dezelfde Van 't Hoff!) de mogelijkheid het moleculair gewicht (massa moeten we tegenwoordig zeggen) te bepalen uit metingen van osmotische druk en concentratie. De uitkomst, hoge moleculaire massa's tussen 10.000 en 40.000 scheen eerst weinig geloofwaardig. Men dacht aan fysische associaten of complexen van kleine moleculen, niet aan grote moleculen.

Het is Hermann Staudinger geweest, die het bestaan van zeer grote moleculen, "echte" macromoleculen dus, bewezen heeft in 1926.

Ons in die tijd verplaatsend, herlezen we met spanning en met steeds genoeg (we kennen immers de afloop van dit prachtige verhaal!) zijn eerste publicaties, waarin hij concludeert:

"Da es sich bei diesen Hochpolymeren um typisch organische Verbindungen handelt, so müssen diese homöopolare gebauten Stoffe Moleküle bilden. Nur sind diese im Vergleich mit den einfachen Verbindungen sehr gross, so dass für sie die Name "Makromolecule" vorgeschlagen wird". Dit diepe inzicht was in 1953 de Nobelprijs waard.

Evenzo kijken we terug naar de publicaties van één van de andere groten uit de macromoleculaire chemie, Wallace H. Carothers. Hij vond de polymer synthese door intermoleculaire polycondensatie uit: een simpele gedachte om uit diaminen en dicarbonszuren polyamiden (Nylon was het eerste handelsmerk van DuPont de Nemours, waar Carothers werkte) te maken. Het was immers bekend, dat uit monoaminen en monocarbonszuren monoamiden ontstaan! Uit de laagmoleculaire organische chemie bekende omzettingen konden aldus gebruikt worden om macromoleculen op te bouwen. Dat was het gevolg van Staudinger's theorie.

Zo ontstond een veelomvattend nieuw ordenend principe: de ketenopbouw van macromoleculen. Ordening uit verwarring en begrip uit twijfel!

De chemische structuur van de macromoleculen was een belangrijke factor die de variëteit van hun eigenschappen kon verklaren.

De moleculaire architect kon nu zijn bouwstenen gaan ordenen naar bepaalde gewenste fysische eigenschappen van zijn bouwsel.

2. Synthese en structuur-eigenschappen relaties. Onderdelen van macromoleculaire architectuur.

De moleculaire architectuur, zeer gewaardeerde toevoeging, is het hoofdthema van mijn oratie. Ik wil daarop nu wat dieper ingaan. Het eerste onderdeel is de synthese, de opbouw van macromoleculair uit kleine moleculen, van polymeren uit monomeren. Het tweede onderdeel is de structuuranalyse, die vaststelt hoe onze kleine moleculen onderling in het grote macromolecuul aan elkaar gebonden zijn, ook ruimtelijk gezien (de configuratie), volgens het concept van Van 't Hoff, waarover ik eerder sprak. Het derde onderdeel wordt gevormd door de fysische eigenschappen van het macromolecuul, die afhangen van de chemische structuur, maar ook van de fysische structuur.

De chemische structuur wordt bepaald door de constitutie, de configuratie en de aard van de macromoleculen, de fysische structuur door de samenhang tussen de macromoleculen, de ordening daarvan.

Het vierde onderdeel wordt gevormd door de gebruikseigenschappen, de produkteigenschappen van de macromoleculaire verbindingen in toepassingen bijvoorbeeld als kunststof, vezel, verf of biomateriaal. Na het fundamentele werk komt nog de vormgevingstechnologie van het produkt, die overigens ook nog invloed heeft op de eigenschappen.

Het project van de moleculaire architect bestaat dus uit de achtereenvolgens gekoppelde onderdelen: synthese $\rightleftharpoons$ analyse $\rightleftharpoons$ evaluatie van fysische eigenschappen $\rightleftharpoons$ evaluatie van gebruikseigenschappen.

Is de architect niet tevreden in een bepaald stadium, dan gaat hij terug naar het vorige stadium, net zo lang tot zijn produkt de gewenste gebruikseigenschappen oplevert. Dan kan (in bouwtermen gesproken) begonnen worden met de oplevering van het produkt voor de gewenste toepassing.

Laten we de verschillende onderdelen van het bouwproject nu wat nader bezien, te beginnen met het eerste onderdeel, de synthese.

De voornaamste macromoleculaire bouwprincipes zijn: stapreacties, kettingreacties en ringopeningsreacties.

Bij stapreacties worden de kleine moleculen (monomeren) door middel van reactieve eindgroepen gekoppeld tot grote moleculen (polymeren). Dit proces is te vergelijken met het vormen van een rij door mensen, die elkaar de hand geven. De eerste en de laatste mens hebben een hand over, die zich weer tot verdere koppeling van de rijen leent. Men kan ook gemengd koppelen, een rij van blanke mensen aan een rij van zwarte mensen of een rij van oostelijke mensen aan een rij van westelijke mensen. Dit principe heet blok-copolymerisatie. We kunnen zo zwart-wit of oost-west copolymeren krijgen, maar de rijen moeten elkaar dan wel de hand willen geven of, in chemische termen gesproken, de eindgroepen moeten reactief zijn ten opzichte van elkaar.

Rijen van willekeurig gemengde soorten mensen vormen "random"-copolymeren. Alternierende afwisseling van mensen geeft alternerende copolymeren. Een driehandig wezen, zoals bijvoorbeeld een aap met een reactieve staart in de rij, kan als vertakkingspunt

fungeren. Meerarmige wezens, zoals inktvissen, kunnen netwerken vormen. Dit gebeurt bij monomeren met meer dan twee reactieve groepen ook.

Bij kettingreacties worden de kleine moleculen door middel van een startermolecuul (initiator) tot een macromoleculaire ketting aaneengeregen. Dit proces is te vergelijken met een rij staande dominostenen, waarvan de eerste (de initiator) valt, de tweede omduwt tegen de derde, enzovoorts. Dit proces gaat veel sneller dan het handen geven, dat is duidelijk.

Tenslotte de ringopeningsreacties. Die bewegen zich tussen kettingrijen en handreiken. Een kring handgevend mens heeft geen vrije hand meer over. Wanneer ze in hetzelfde kringetje rond blijven draaien, gebeurt er niets.

Om een lineaire rij te vormen is een initiatiefnemer, een initiator, nodig, die de kring opent en twee handen vrij maakt om een andere kring te openen en zo verder.

Gewapend met deze bouwprincipes wilde ik U eens meenemen, zeer gewaardeerde toehoorders, langs enkele mijlpalen van specifieke syntheses, waarbij de molecuulsoort, de molecuullengte, de eindgroepen en de ruimtelijke ordening beheerst wordt. Kortom de chemische en de fysische structuur, die de eigenschappen bepalen, waarover ik eerder sprak.

Zo kunnen we tegenwoordig starre, stijve of soepele macromoleculen maken in allerlei vormen: schroeven, staafjes, kluwens, kammen, sterren, netwerken enzovoorts.

Ik maak een kleine selectie, die de moderne bouwkunde illustreert. De mogelijkheden om polymeersegmenten te maken met vooraf bepaalde molecuulgrootte en grootteverdeling en gedefinieerde eindgroepen zijn sedert het baanbrekende werk van Szwarc en medewerkers sterk gegroeid.

Via de reactieve eindgroepen kunnen zo segment-of blokcopolymeren gemaakt worden, die heel interessante eigenschappen hebben. Dit kettingreactieprincipe kan niet alleen met anionaire (negatieve), maar ook met kationaire (positieve) initiatoren worden uitgevoerd. Saegusa, Goethals, Plesch, Pencek en Kennedy hebben daarvoor zeer specifieke methoden uitgewerkt.

Polymerisaties met de wilde reactieve radicalen als initiatoren zijn over het algemeen minder goed beheersbaar. Toch zijn hier

ook nieuwe ontwikkelingen te melden, leidend tot grotere structuurspecificiteit. Initiatoren met functionele groepen eraan, die later aan de ketens gebonden worden, of de macromonomeren, een heel nieuwe familie van kleine polymeren (oligomeren) met een reactief uiteinde. Zij lenen zich vooral voor de specifieke opbouw van zijtakken.

Bijzonder elegant is het recente werk van Webster e.a.,¹⁾ die een geheel nieuwe methode om gedefinieerde polymeerstructuren te maken uitvonden. De initiator, die op het monomeer lijkt, verandert dit monomeer door het overdragen van een atoomgroep in een nieuw initiatormolecuul, dat opnieuw een monomeer kan aanleggen en transformeren enzovoorts. Zo wordt de keten opgebouwd uit moleculen met een initiator en een monomeerverleden. Molecuulgrootte en eindgroepen zijn goed instelbaar, waardoor de methode zich leent voor de opbouw van bloccopolymeren, lineair, in T vorm en in stervorm.

In de stapsgewijze polymerisatie (het handreiken, waarover ik eerder sprak) wordt moleculaire architectuur het best geïllustreerd door de polyurethaanbouwwijze, in 1937 door Otto Bayer uitgevonden: "Die neue Methode gestattet zum ersten Male ... Kunststoffe mit praktisch beliebigen Eigenschaften und eindeutig klarem chemischen Aufbau herzustellen. Man kan in der Tat jetzt wie ein Baumeister hochmolekulare Verbindungen ... ohne Schwierigkeiten konstruieren".^{1a)}

Dat is zeker niet te veel gezegd. Bayer's uitvinding berustte op nieuwe zeer reactieve eindgroepen, de isocyanaten, die het mogelijk maken polymeersegmenten van ingestelde lengten in een trapsgewijze proces te koppelen tot lineaire copolymeren of tot netwerken. De breedte van de toepassingen illustreert de variatiemogelijkheden van dit bouwprincipe: kunststoffen, rubbers, verven, lakken en lijmen bijvoorbeeld.

Nu nog enkele woorden over de beheersing van de ruimtelijke ordening bij de macromoleculaire synthese: In 1953 vond Ziegler de polymerisatie van etheen uit met behulp van metaalorganische katalysatoren. Een jaar later kon Natta met behulp van Ziegler katalysatoren stereoregulaire polymerisaties van α -olefinen als propaan en styreen uitvoeren. "Wir erhielten Polymere, deren Eigenschaften völlig anders waren, als die der bisher bekannten

Polymerisatie dieser Monomeren", schrijft Natta in zijn Nobelvoordracht in 1963, toen hij de prijs met Ziegler deelde.²⁾ De samenstelling was dezelfde, maar de configuratie, de ruimtelijke ordening der atomen was verschillend. Dit verschil in chemische structuur leidt tot een andere fysische structuur: de Ziegler Natta polymeren met hun ruimtelijke regelmaat waren kristallijn, de andere door radicaalpolymerisatie verkregen polymeren niet. Weer denken we hier terug aan van 't Hoff. Het polypropaan is een van de z.g. constructie kunststoffen en dankt zijn bruikbaarheid volledig aan de Ziegler-Natta methode. Het is aardig te vermelden dat Ziegler helemaal niet naar de polymerisatie van etheen gezocht heeft, hij was "slechts" aan het experimenteren met organo-aluminiumverbindingen en vond toen bij toeval de etheenpolymerisatie. "Ich weisz heute ganz sicher, dass der Versuch eines Anfangs in Mühlheim (het "Kohlenforschungsinstitut") mit dem Streben nach einem gesetzten Ziel die Quellen meiner Schöpferischen Tätigkeit verschüttet hätte", schrijft Ziegler in zijn Nobelvoordracht.³⁾ Dit verschijnsel "serendipiteit" of "serendipity" genoemd is kenmerkend voor de experimentele natuurwetenschappen. Het is ook een van de redenen waarom researchmensen soms wat allergisch zijn voor te strakke plannen, budgets en organisatievormen in hun werk. Ik kom daar straks nog op terug. Nu een voorbeeld van de opbouw van schroefvormige macromoleculen: de vorming van polyisocyaniden met behulp van nikkelkatalysatoren door Drenth en Nolte⁴⁾.

Al naar gelang de structuur van het monomeer kan men links- of rechtsdraaiende schroeven krijgen. Substituenten (dat zijn aanhangende atoomgroepen) worden door de schroefvorm boven op elkaar gestapeld. Grote ringvormige ion complexerende substituenten kunnen zo een buis vormen, waardoor selectief ionentransport kan plaatsvinden.

Andere substituenten kunnen weer andere eigenschappen geven. Wat een architectuur! De nabuurschap van eigenschappendragende groepen kan worden beheerst. "Wij voelen ons projectontwikkelaars in de chemie", zei Drenth terecht in een interview⁴⁾.

De kunst de eigenschappendragende groepen in het macromolecuul zo specifiek op te bouwen, wordt in de natuur met ongelofelijke beheersing beoefend:

Het desoxyribonucleïnezuur (afgekort DNA) draagt een codering in zich die uiteindelijk verantwoordelijk is voor specifieke biosynthese van eiwitmacromoleculen. Het principe is hier dat de eiwitmonomeren zich langs de keten van de polynucleotiden vormen. Deze voorbeeld keten noemt men "template". De opbouw van de eiwitketen, monomeervolgorde en ruimtelijke structuur wordt precies door het template molecuul bepaald. De keten kruipt als het ware over de rug van het template molecuul voort, iedere "oneffenheid" exact reproducerend.

Template "replica" polymerisaties zijn vooralsnog nog niet met dezelfde verfijning ook in het laboratorium mogelijk, maar bieden een nieuwe mogelijkheid tot specifieke bouw op langere termijn. Interessante exploraties worden hierover door Challa en medewerkers in Groningen gedaan.⁵⁾

Tenslotte nog een fraai voorbeeld van beheersing van chemische en fysische structuur: de aromatische polyamiden, regelmatige, stijve ketens met effectieve interacties tussen de ketens door middel van waterstofbruggen. Reeds in oplossing is er ordening: de macromoleculen liggen als staafjes naast elkaar en niet zoals gebruikelijk als doorspoelde kluwens. Deze ordening zet zich voort in de hoogkristallijne vaste toestand, waardoor vezels gemaakt kunnen worden, zo sterk als staal van dezelfde diameter, maar vijf maal zo licht. U hebt daarover vast wel eens in de krant gelezen.

Nu kom ik aan het tweede onderdeel: de chemische structuuranalyse, die ons de molecuulsoort, de molecuulgrootte, de eindgroepen en eventueel type en mate van vertakking en vernetting kan geven. Structuuropheldering gebeurt tegenwoordig vooral met spectroscopische methoden. Ten eerste infraroodspectroscopie, gebruikmakend van de nauwkeurige en snelle Fourier transformtechniek voor de identificatie van functionele atoomgroepen. Ten tweede kernmagnetische resonantie voor de identificatie van alle atomen, waarvan de kern een resulterend magnetisch moment bezit. Het meest komen in organische macromoleculen waterstof en koolstof voor, waarvan men de isotoop C13 detecteert. Soort en aantal van zulke deeltjes en hun nabuurschap in het macromolecuul kan zo worden vastgesteld. Beide spectroscopische technieken kunnen tegenwoordig macromoleculen in vloeibare en in vaste toestand analyseren. Dat is een belangrijke stap voorwaarts, omdat macromoleculen nog als eens on-

oplosbaar zijn, zeker in netwerk vorm, bijvoorbeeld de zogenaamde thermoset kunststoffen of coatings.

Additionele structuurinformatie kan men nog krijgen door een onoplosbaar polymeer in stukken te knippen door middel van pyrolyse onder goed gedefinieerde condities, vervolgens de stukken met chromatografische technieken van elkaar te scheiden en met spectroscopische technieken te analyseren. Deze pyrolyse/chromatografie/spectroscopie gekoppelde methode is de laatste jaren in snelheid en verfijning gegroeid.

Voor de bepaling van de molecuulgrootte en de molecuulgrootteverdeling zijn vele technieken beschikbaar. Chromatografische technieken zijn de meest gebruikte, het scheidend vermogen is spectaculair toegenomen in de laatste tijd. Automatisering en dataverwerking worden in alle instrumentele analysetechnieken gebruikt ten bate van snelheid, precisie en archivering. Belangrijk is de technieken in combinatie te gebruiken, de verschillende informatie bundelend tot een volledige analyse. Zo kan de architect zijn bouwstenen op soort, vorm en grootte sorteren. Weinig details ontsnappen meer aan zijn aandacht en nu heb ik nog lang niet al het analytisch gereedschap genoemd!

Dan het derde onderdeel: de fysische structuuranalyse en de fysische eigenschappen van macromoleculen. Ook hier kan men met moderne methoden in details karakteriseren. Ik wil hier enkele diffractietechnieken, röntgenanalyse en verschillende soorten elektronenmicroscopie noemen. Met zulke effectieve gereedschappen konden Northolt en v. Aartsen⁶⁾ in het AKZO corporate researchlaboratorium de fysische structuur van polyphenyleenterephtalamide (de nieuwe sterke vezel, waarover U in de krant las) ophelderen en daaruit de uitmuntende mechanische eigenschappen verklaren, ja zelfs berekenen.

Behalve mechanische eigenschappen kan fysische karakterisering ook optische en elektrische eigenschappen omvatten. v. Krevelen⁷⁾ heeft in zijn praktische boek over "properties of polymers" semi-empirische methoden aangegeven, waarmee fysische eigenschappen van polymeren uit bijdragen van de verschillende atoomgroepen berekend kunnen worden.

Nadat de macromoleculaire architect zijn bouwsel specifiek heeft

opgebouwd, nauwkeurig geanalyseerd, de fundamentele fysische eigenschappen gemeten, moeten vormgeving en gebruikseigenschappen worden getest met kleine representatieve monsters. Is dit vierde en laatste onderdeel van de moleculaire architectuur succesvol verlopen, dan kan tot productie en oplevering overgegaan worden.

3. Toekomstige ontwikkelingen in macromoleculaire architectuur

Na aldus te hebben stilgestaan bij ontwikkelingen in de macromoleculaire chemie van recente en oudere datum, zou ik ook graag willen proberen een blik in de toekomst te werpen. Dit is een subjectieve en ook speculatieve bezigheid, want: het is goed om vooruit te kijken, maar het is moeilijk verder te kijken, dan men kan zien.

In de eerste plaats spreek ik dan de verwachting uit dat de kunst om op maat gesneden macromoleculen met gewenste eigenschappen te bereiden, verder verfijnd zal worden. De synthese en het reactiviteitsbegrip zullen op spectaculaire wijze worden geholpen door steeds verder geavanceerde analytische en fysische karakteriseringsmethoden, in combinaties toegepast. De macromoleculaire chemicus zal hierbij veel kunnen leren van de wijze waarop de natuur configuratie- en conformatie effecten van polymeren uitbuit ten bate van specifieke milde reacties. We kunnen in dit verband ook de polymere katalyse en de template polymerisaties noemen, waarbij enzym modellen en polynucleotiden als lichtende voorbeelden dienen. Omgekeerd overigens kunnen studies van bioprocessen in toenemende mate profiteren van de inzichten van de macromoleculaire chemie. U wist natuurlijk, geachte toehoorders, dat de chemie in bioprocessen niet fundamenteel verschilt van de chemie in z.g. synthetische processen. Er bestaat geen goede mooie ongevaarlijke natuurchemie en geen slechte lelijke giftige synthetische chemie.

Ik hoorde laatst in een televisieinterview, dat er geen giftige stoffen in de natuur zouden bestaan. "Alleen de chemische industrie produceerde gif". Afgezien van het ongedefinieerde begrip "gif", dat men tegenwoordig overal in de pers tegenkomt, zou ik de betreffende spreker graag eens een groene knolamaniet willen laten proeven. Maar ik ben een menslievend mens.

In de tweede plaats verwacht ik een krachtige verdere ontwikkeling van meercomponentenpolymeersystemen, composieten genoemd, met mechanische, optische, elektrische en pharmaceutische eigenschappen.

De macromoleculaire architect heeft aan één polymeer niet meer voldoende om aan hoge toepassingseisen te voldoen, hij zal complexe systemen als bouwelementen gaan gebruiken. Hij zal die met zijn nieuwe methodologie, waarvan ik eerder sprak, steeds beter weten te beheersen. Het ontwerp van de componenten, hun onderlinge wisselwerking, de constructie van de composiet, de beheersing van de fysische structuur bij de verwerking, het zal alles om een multidisciplinaire aanpak vragen.

Het gaat erom de kracht van de chemische bindingen volledig te benutten en een gedefinieerde fysische structuur met zo min mogelijk defecten op te bouwen. Op deze basis van steeds verfijnder moleculaire architectuur zullen toepassingen groeien op het gebied van sterke en taaie kunststofsysteemen, selectieve membranen, duurzame coatings, biopolymeren, optische en elektrische materialen in de telecommunicatieindustrie.

In de derde plaats zie ik een groeiende rol van kwantitatieve methoden, wiskundige modellen en moderne computortechnieken, waarmee de eigenschappen van polymeersystemen uit die van de componenten afgeleid kunnen worden. Ook wat synthese en structuur/eigenschappen relaties van macromoleculen betreft zullen theorie en experiment elkaar steeds dichter gaan naderen in dynamische simulaties van de activiteit en de reactiviteit van complexe moleculen als functie van hun ruimtelijke structuur.

4. Onderzoek- en onderwijsbeleid

Zeer gewaardeerde toehoorders, na de bouwkundige aspecten van de moleculaire architectuur te hebben belicht, wilde ik nog een ogenblik ingaan op beleidsaspecten, die het werkklimaat van de architect en zijn bouwkundigen bepalen.

Na de tweede wereldoorlog begon het grote groeitijdperk, gekenmerkt door een welhaast anarchistisch vrij researchklimaat. Daarna kwam, niet onverwacht, een consolidatieperiode, waarin het accent meer op exploitatie van bestaande wetenschap lag. Hierbij paste een gerichte, dienstverlenende research.

Ik herinner mij nog levendig de uitspraak van een Engelse captain of industry "in de chemie zijn geen grote nieuwe ontwikkelingen meer te verwachten, het laatste waaraan we behoefte hebben is aan nieuwe polymeren". Geen grootse toekomstvisie, maar wel typerend voor die tijd. Spoedig zouden zulke uitspraken gelogenstraft worden.

We leven nu, in wat ik de selectieve groeiperiode zou willen noemen: research maakt deel uit van groeistrategiën.

Het is goed om groeigebieden te identificeren, maar de fundamentele kennis om deze te bewerken moet wel opgebouwd worden. Anders lijken we op voetballers die allemaal tegelijk in dezelfde richting achter de bal aan rennen, zonder kennis van balbehandeling of van de dynamiek van het leer. Zonder deze fundamenteen is het moeilijk om goals te maken.

Het is nu het moment om terug te komen op het begrip "serendipity" zoals ik beloofd heb.

Het doen van ontdekkingen, waar men niet bewust en zeker niet volgens een plan naar gezocht heeft, wordt in het Engels "serendipity" genoemd. Het woord komt van de romantische ontdekkingsreizen van Sindbad de zeeman. Gedurende zijn zesde reis leed Sindbad, geheel tegen het vaarplan en zeker buiten het budget, schipbreuk bij Sri Lanka, dat toen Serendib genoemd werd. Hij vond parels en robijnen op het eiland: "serendipitous finds".

Precies zo waren de eerder vermelde ontdekkingen in de macromoleculaire chemie "serendipitous discoveries", maar zij vergden wel de intuïtie, fantasie en het doorzettingsvermogen van een Sindbad om tot succes te leiden.

Hoe laten we de fundamentele research, waarover ik sprak, nu het beste bloeien? Niet door lange researchprogramma's te schrijven, die terwille van de financiering nogal eens de heersende mode volgen. Ook niet door te strakke organisatiestructuren, bureaucratische procedures of budgetteringen. Ook niet door verkeerd gerichte bezuinigingen in moderne instrumentatie, waarvan ik zojuist het belang voor de kwaliteit van het onderzoek heb aangegeven. En zeker niet door een dwaze nivelleringspolitiek, die overigens de zwakkere niet helpt. Wél door het kweken van een stimulerend klimaat, door school te maken, door werkelijk visionair leiderschap, door talent te ontdekken en aan te moedigen, door

elitevorming weer aan te durven, elitevorming, niet van macht en geld, maar van kennis en creativiteit.

U ziet, buitengewone hoogleraren hebben een functie in het doorbreken van buitengewoon hardnekkige taboe's. "Innovatie op bestelling" is onmogelijk, zie collega Heikens onlangs in zijn afscheidscollege aan de THE en hij was gewoon hoogleraar. "In een onderzoeklaboratorium gaat het meer om het scheppen van gunstige werkomstandigheden en om de wetenschappelijke kwaliteit van de medewerkers dan om strakke afbakening van activiteiten", zei collega Pannenburg in zijn intreerede in Delft en hij is niet alleen buitengewoon hoogleraar, maar ook oud-researchdirecteur van Philips. Betekent dit nu een pleidooi voor terugkeer van de anarchie van de groeiperiode 1945-1970? Geenszins. Het is goed, dat er bij de universiteiten en technische hogescholen zwaartepunten worden aangegeven en taken verdeeld, om versnippering tegen te gaan, het is goed dat er meer oriëntatie op toepassingen gekomen is.

Ik hoef hier in Delft niet te zeggen dat wetenschap er niet minder interessant van wordt, wanneer zij wordt toegepast. Maar waar het om gaat is een evenwichtig onderzoeksbeleid, dat het lange termijn deel, het langgolfige deel van het R & D (research en development) spectrum niet verwaarloost.

Wat houdt het R & D spectrum in? v.Krevelen, mijn leermeester in de industriële research, heeft dit scherp geanalyseerd⁸).

We beginnen met het langgolfige deel en gaan dan naar steeds kortere golven. Eerst de fundamentele research, geheel gericht op het kennen, dan het op toepassingen georiënteerde onderzoek, kennen om te kunnen, dan de toepassingsresearch, die geheel op het kunnen is gericht. Het kortste golfgedeelte van het spectrum noemen we ontwikkeling (de D van R & D), dat is de brug tussen research en productie. Dit R & D spectrum, de soorten R & D met hun verschillende doelstellingen, heeft grote consequenties wat de organisatorische, de menselijke en de financiële kant betreft. Hoe korter de golf, hoe strakker het beleid, hoe langer de golf, hoe meer vrijheid. Researchmanagement inclusief het ministerie van onderwijs, kunsten en wetenschappen, dient zich hiervan scherp bewust te zijn, want met een niet passende organisatie komt er van de doelstellingen niets terecht.

Het R & D spectrum dient evenwichtig bewerkt te worden.

Leggen we het accent te veel op de korte golf dan plegen we roofofbouw, leggen we het accent te veel op de lange golf dan verzanden we in hobbyïsme. Kennisopbouw en kennisgebruik moeten in evenwicht zijn.

De kwaliteit van het onderwijs aan de universiteiten en hogescholen wordt in hoge mate gediend door goed onderzoek aan de fundamentele kant van het spectrum. Daarmee houdt men het onderwijs levendig en up to date. Bij de industrie ligt het accent meer, maar zeker niet uitsluitend, op gerichte research en ontwikkeling. Samen kan zo het hele R & D spectrum bewerkt worden. Het is daarom zo goed dat er een groeiende interactie is tussen het bedrijfsleven en de universiteiten en hogescholen en dat de dwaze politieke vooroordelen goeddeels verdwenen zijn. Maar deze interactie is alleen effectief wanneer ieder zijn eigen verantwoordelijkheid behoudt.

Het is jammer dat er nog te veel onzekerheid heerst over de tweede fase opleiding. Zij zou het hart van de academische vorming moeten zijn!

In de industrie bestaat ongetwijfeld grote behoefte aan afgestudeerden in de eerste fase die hun te geringe onderzoekservaring op verschillende manieren hebben aangevuld. De gepromoveerden vooral voor researchfuncties, de ontwerpers in technische functies. Ik zou voor flexibiliteit in de tweede fase willen pleiten: naast de ontwerpersopleiding een onderzoekersopleiding met een meer multidisciplinair karakter en geen vaste promotieduur.

5. Werkterrein in Delft

Zeer geachte toehoorders, ik stel mij voor dat mijn werkterrein in Delft zal zijn een bijdrage te leveren aan de kunst der macromoleculaire architectuur, een bescheiden bijdrage, zoals een buitengewoon hoogleraar past. Ik zal mij daarbij vooral toeleggen op synthese en fundamentele structuur-eigenschappenrelaties in verband met toepassing. Ik denk dat aan dit soort opleiding bij de industrie grote behoefte bestaat en in Delft zou het welkome aanvulling van de polymeerwetenschap kunnen zijn.

De synthese van macromoleculen is een kwantitatief verwaarloosd gebied, zoals collega Challa onlangs in het Chemisch Weekblad terecht opmerkte⁹).

Ik heb nooit begrepen waarom de Nederlandse organische chemie, die toch kwalitatief op hoog peil staat, zich zo weinig gelegen laat liggen aan de macromoleculen. Waarom de belangstelling schijnt af te nemen vanaf molecuul massa 600-700, zoals de elasticiteitsmodulus van een macromolecuul bij de glasovergangstemperatuur.

Reactiviteit, specificiteit, structuureigenschappen relaties, het zijn toch begrippen die bij macromoleculen extra reliëf krijgen en dus een extra stimulans voor de organicus zouden moeten betekenen. De bio-organische chemie bloeit wel en de macromoleculaire aspecten daarvan verschillen natuurlijk niet wezenlijk van die buiten de biochemie, al realiseren sommigen zich dat niet. Een sterkere wisselwerking tussen biochemici en polymeerchemici zou dan ook vruchtbaar kunnen werken.

De macromoleculaire wetenschap is een multidisciplinair vak: organische chemie, analytische chemie, fysische chemie, physica en werktuigbouwkunde zijn belangrijke disciplines, waarmee een macromoleculair architectenbureau en het bijbehorende aannemersbedrijf werkt. Bouwkunde hoort er natuurlijk ook bij, dat zult u wel begrijpen.

Wat interdisciplinaire samenwerking betreft zijn de condities in Delft gunstig: alle genoemde vakken zijn er goed vertegenwoordigd, bovendien staat een afdeling scheikundige technologie en materiaalkunde op stapel. Het is goed dat de studenten in multidisciplinaire werkwijzen getraind worden. Ik heb de waarde hiervan vooral in de industrie leren kennen en als researchleider heb ik dit principe altijd consequent toegepast.

Niet alleen wat de vakken betreft zijn de condities in Delft gunstig, ook de menselijke verhoudingen, die ik er aantrof, zullen interdisciplinaire samenwerking met behoud van ieders deskundigheid en geaardheid zeker stimuleren. De collegialiteit waarmee ik in de vakgroep polymeerchemie ben opgenomen en de enthousiaste wetenschappelijke discussies waarin we direct verzeild raakten deden mij weldadig aan.

6. Dankwoord

Aan het einde van mijn voordracht wil ik in de eerste plaats mijn

dank betuigen aan Hare Majesteit de Koningin voor mijn benoeming aan de Delftse Technische Hogeschool.

De leden van het college van bestuur en het bestuur van de afdeling scheikundige technologie dank ik voor het in mij gestelde vertrouwen.

De Raad van Bestuur van Akzo wil ik gaarne dank betuigen voor de gelegenheid, die zij mij geboden heeft een deel van mijn tijd aan het hoogleraarschap te wijden.

Hooggeleerde v.d.Vegt en Zeergeleerde te Nijenhuis, beste Anne en beste Klaas, voor de hartelijke wijze, waarop jullie mij in onze vakgroep geïntroduceerd en begeleid hebben, ben ik zeer dankbaar. Ik stel mij van de verdere samenwerking met alle stafleden dan ook veel voor.

Hooggeleerde Schenck, beste Piet, direct na de eerste gesprekken, die ik met jou als afdelingsvoorzitter mocht voeren, heb ik mij verheugd en aangemoedigd gevoeld in Delft te mogen werken.

Hooggeleerde van Bekkum, beste Herman, ik hoop dat je mij mijn milde verbazing over de dalende belangstelling van organici met stijgende moleculaire massa niet kwalijk hebt genomen. Samen te kunnen werken met iemand die zo'n brede belangstelling en enthousiasme voor uiteenlopende facetten van de organische chemie heeft als jij, is voor mij een voorrecht.

Dames en heren studenten, ik hoop dat ik het U niet al te moeilijk heb gemaakt in mijn eerste college. U hebt U bescheiden, maar aandachtig toelisterend opgesteld. Ik verheug mij op een groeiende wisselwerking, waarbij vragen en discussiepunten van Uw kant ook voor mij leerzaam zullen kunnen zijn. U verkeert in de gelukkige omstandigheid dat U een in de maatschappij veel gevraagd vak hebt gekozen. De maatschappij zal mensen nodig hebben, die het feu sacré voor de wetenschap bezitten. Wanneer ik er toe kan bijdragen dat in U te ontsteken, acht ik mijzelf ruimschoots beloond.

Zeer gewaardeerde toehoorders, ik dank U allen voor Uw aandacht.

LITERATUUR

1. O.W. Webster, W.R. Hertler, D.Y. Sogah, W.B. Farnham en T.V. Rajan Babu, J. Macromol. Science Chem A21, 943(1984).
- 1a. O. Bayer, Angew.Chem, A 59, 257 (1947)
2. G. Natta, Angew. Chem. 76, 553 (1964)
3. K. Ziegler, Angew. Chem. 76, 545 (1964)
4. Chemisch weekblad 9 mei 1985, pg. 178.
5. G. Challa en Y.Y. Tan, Pure and Appl. Chem.53, 627(1981).
Zie ook J. Smid, proefschrift R.U. Groningen (1985)
6. M.G. Northolt en J.J. van Aartsen, J.Pol.Sci.Pol.Symp. 58, 283 (1977)
M.G. Northolt in "Recent advances in liquid crystalline polymers", Elsevier Appl.Sci.series chapter 20(1985).
M.G. Northolt, Ned. tijdschrift voor Natuurkunde A50(2), 48 (1984).
7. D.W. van Krevelen en P.J. Hoftijzer, Properties of polymers, correlation with chemical structure, Elsevier A'dam (1976)
8. D.W. van Krevelen, De betekenis van de research voor de industriële ontwikkeling. Kwartaaloverzicht A'dam - R'dam bank, Maart 1965
9. G. Challa, Chem. Weekblad, Jan. (1985), pg.41
